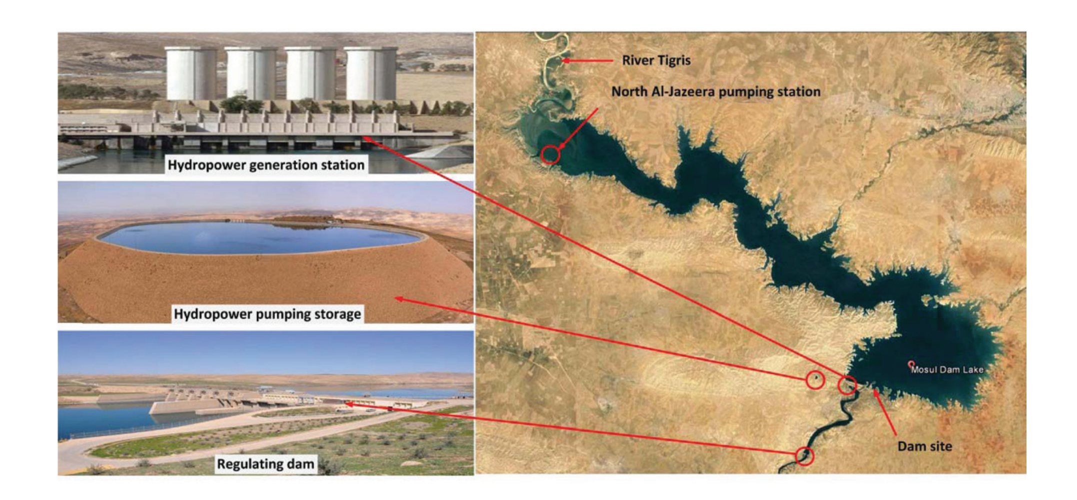
سَدُّ المَوْصِل
القِصَّةُ الْكَامِلَةُ

دِرَاسَةٌ عِلْمِيَّةٌ فَنِّيَّةٌ تَحْلِيلِيَّةٌ لِأَخْطَرِ سَدٍّ فِي الْعَالَم



نصرت ادمو

نظير الأنصاري

فاروجان سيساكيان

سفن كنتسن

جان لاوي

دار البشائر الإسلامية

سَدُّ المَوْصِل

القِصَّةُ الْكَامِلَةُ

الطبعة الأولى
١٤٣٩هـ - ٢٠١٨م

شركة دار البشائر الإسلامية
للطباعة والنشر والتوزيع ش.م.م.
أسسها الشيخ رمزي دمشقية رحمه الله تعالى
سنة ١٤٠٣هـ - ١٩٨٣م
بيروت - لبنان - ص.ب: ١٤/٥٩٥٥
هاتف: ٠٠٩٦١١/٧٠٢٨٥٧ فاكس: ٠٠٩٦١١/٧٠٤٩٦٣
email: info@dar-albashaer.com
website: www. dar-albashaer.com

البشائر الإسلامية

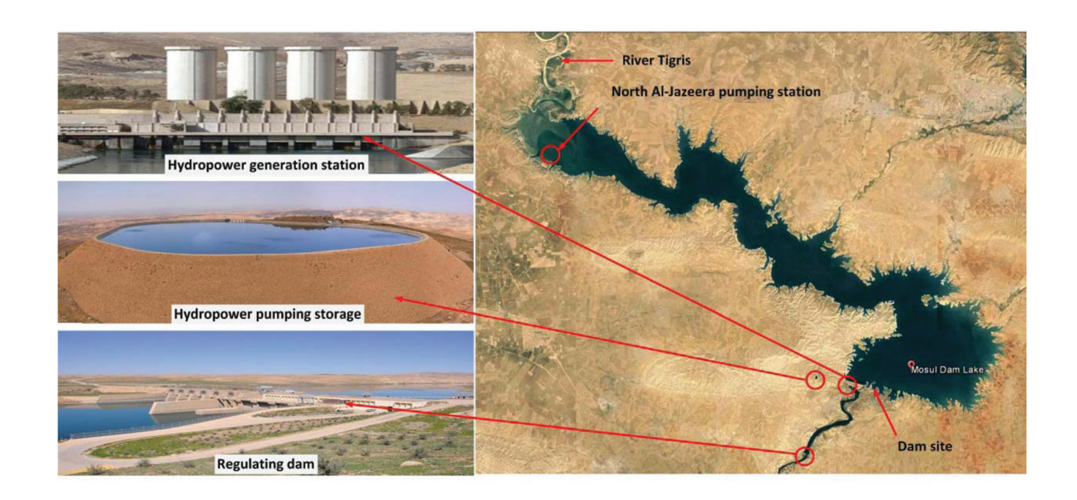
ISBN 978-91-639-5553-2
9 789163 955532

طَبَعَت هذا الكتاب جامعة لوليو التكنولوجيه
قسم الهندسة الجيوتقنية
السويد

Published by Lulea University of Technology
Division of Geotectnical Engineering
Lulea 971 87
ISBN 978-91-639-5553-2

سَدُّ المَوْصِل
القِصَّةُ الْكَامِلَةُ

دِرَاسَةٌ عِلْمِيَّةٌ فَنِّيَّةٌ تَحْلِيلِيَّةٌ لِأَخْطَرِ سَدٍّ فِي الْعَالَم



نصرت ادمو

نظير الأنصاري

فاروجان سيساكيان

سفن كنتسن

جان لاوي

دار البشائر الإسلامية

Black plate (1,1)

سَدُّ المَوْصِل
القِصَّةُ الْكَامِلَةُ

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press /سحب ثالث/ سد الموصل/

Published by Lulea University of Technology
Division of Geotectnical Engineering
Lulea 971 87
ISBN 978-91-639-5553-2

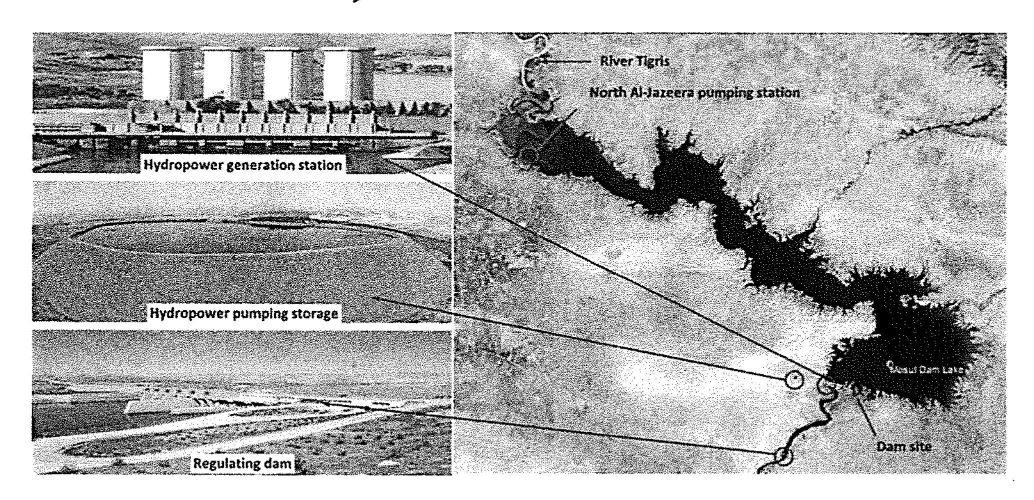
طَبَعَت هذا الكتاب جامعة لوليو التكنولوجيه
قسم الهندسة الجيوتقنية
السويد

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/

سَدُّ المَوْصِل

القِصَّةُ الْكَامِلَةُ

دِرَاسَةٌ عِلْمِيَّةٌ فَنِّيَّةٌ تَحْلِيلِيَّةٌ لِأَخْطَرِ سَدٍّ فِي الْعَالَم



المهندس الاستشاري نصرت ادمو

الأستاذ الدكتور نظير الأنصاري

الجيولوجي الاستشاري فاروجان سيساكيان

الأستاذ الدكتور سفن كنتسن

الأستاذ الدكتور جان لاوي

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press /سحب ثالث/ سد الموصل

المحتويات

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/

هذا الكتاب

يسرنا أن نضع هذا الكتاب بين يدى القارئ الكريم، وخاصة من كانت معلوماته الفنية تؤهله للخوض في إحدى أهم وأعقد مشكلة فنية تواجه العراق اليوم.

إن هذه المشكلة لو سمح لها بالتطور ولم تتم معالجتها بشكل صحيح؛ فإن لها آثارها الاجتماعية والاقتصادية التي ستؤثر في قطاع كبير من الشعب العراقي وفي بنية العراق ومستقبل أجياله القادمة.

إن مشكلة سد الموصل واحتمال انهياره قد أصبحت الآن مثار اهتمام العالم، وقد لمسنا ذلك واضحًا من ردود أفعال وسائل الإعلام العالمية وشبكات التواصل الاجتماعي؛ ولذلك فقد سمي سد الموصل: «**السد الأكثر خطورةً في العالم**».

ومن ملاحظاتنا المسجلة على هذه المنافذ الإعلامية وما نشرته وما حاولت التوصل إليه خلال المقابلات العديدة التي أجريت معنا، نرى بأن غالبيتها كانت غير دقيقة في نشر المعلومات الصحيحة حول احتمالية انهيار السد، مما أثار موجة هلع كبيرة بين سكان مدينة الموصل بشكل خاص وبقية المدن الواقعة في حوض دجلة وصولًا إلى بغداد وأكثر جنوبًا. ولم يكن هناك إلا العدد القليل من وسائل الإعلام المنصفة التي تحاول أن تصل إلى الحقيقة دون تهويل أو تزييف.

إن كل هذا، دعانا إلى أن نتصدى لهذا الموضوع لشرح جوانبه الفنية وتشعباته الأخرى؛ فإن خير سلاح لمحاربة الإشاعات ووسائل الحرب النفسية هو قول الحقيقة دون تقليل أو تهويل. لذا فإن ما نعرضه في هذا الكتاب يوضح بوجود مشكلة كبيرة في سد الموصل ولكن هناك أيضًا حلول لها.

ولقد حاولنا في هذا الكتاب أن نعرض المشكلة بكل جوانبها ثم استعراض الحلول لها، تلك الحلول التي حاولنا أن نبلورها مستندين إلى آراء الخبراء العالميين في مجالات السدود الذين عملوا على دراسة كافة جوانب المشكلة خلال السنوات المنصرمة والتي تم انضاجها في ورشة العمل الدولية التي أقامتها في ستوكهولم جامعة لوليو الفنية في أيار (2016)، بعد أن نشرنا عددًا كبيرًا من البحوث عن جوانب المشكلة منذ نهاية سنة (2014)، وكذلك نَشْرنا لكتاب باللغة

الإنكليزية تضمن كافة جوانب السد الهندسية والجيولوجية والمشاكل التي يعاني منها سد الموصل.

ولقد عملنا بشكل فريق عمل متكامل يضم كافة الاختصاصات المعنية في مشكلة سد الموصل، ومن الكفاءات المتميزة في مجال اختصاصاتهم. وعمل الفريق الذي تشكل لهذا الغرض تحت مظلة جامعة لوليو الفنية في السويد لنشر بحوثه عن سد الموصل ولإقامة ورشة العمل المذكورة.

وكان الهدف من هذا النشاط ثلاثة أمور:

الأول: دراسة كافة جوانب المشكلة وأبعادها.

والثاني: اقتراح الحلول الدائمة لها.

والثالث: تنبيه الحكومة العراقية إلى حجم المشكلة وما يتوجب عليها القيام به من واجبات، سواء لوضع الحلول الدائمة موضع التنفيذ، أو اتخاذ الإجراءات الاحترازية وإعداد خطط الطوارئ اللازمة في مثل هكذا حالات.

ولتسهيل الأمر على القارئ الكريم؛ فإن الكتاب مقسم إلى أحد عشر فصلًا وملحقًا واحدًا.

وقد تضمنت الفصول الخمسة الأولى التعريف بتأريخ دراسات وتصاميم سد الموصل، وكذلك التفاصيل الفنية لتصاميم السد كما نُفذت، والأمور التي قادت إلى تبني تلك التفاصيل.

ثم يلي ذلك الفصول الثلاثة الأخرى، حيث شرحنا فيها مشاكل الأسس والمصاعب في عملية تحشيتها والتعريف بحجم المشكلة.

أما الفصول الثلاثة الأخيرة، فقد تضمنت الحلول المطلوبة وعواقب انهيار السد في حالة عدم الإسراع بتنفيذ تلك الحلول.

ولقد دعمنا كل ما ورد في الكتاب من معلومات بالمصادر الفنية ـ من تقارير، ودراسات، وبحوث علمية ـ، ناهيك عن معايشتنا الفعلية وحضور كافة الاجتماعات الخاصة بالسد، والمساهمة بالدراسات وإعداد التقارير عنه، سواء خلال فترة التنفيذ أو الفترة اللاحقة عند التشغيل ولفترة امتدت من سنة (1979) وحتى سنة (2006).

لذا؛ فإننا نعتقد بأننا قد ساهمنا من خلال هذا الكتاب في رفع هالة الغموض عن سد الموصل، ونرى في الكتاب إمكانية اعتباره مصدرًا شاملًا يستفيد منه

العاملون في المؤسسات الحكومية العراقية وأساتذة وطلبة الجامعات العراقية وخاصة الاختصاصات المعنية.

كما يمكن الاستفادة من تجربة سد الموصل والمشاكل التي ظهرت أثناء التنفيذ وبعد التشغيل والمذكورة بكل تفاصيلها من قبل كل من يعاني من مثل هذه المشكلة، أو من يخطط لبناء سد في منطقة تتكشف فيها مثل تلك الصخور المتكهفة.

ومن الله التوفيق

المؤلفون

السويد، لوليلو/ 2017م

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press /سد الموصل/ سحب ثالث

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press /سد الموصل /سحب ثالث

الفصل الأول

معلومات عامة

1 ـ تمهيد

أثيرت في الآونة الأخيرة ـ وتحديدًا في أواخر عام (2015) والربع الأول من عام (2016) ـ ضجة كبيرة في وسائل الإعلام المختلفة تتحدث عن مشاكل بنيوية في سد الموصل وقرب انهياره الوشيك.

في هذا الصدد، كانت وسائل الإعلام هذه تدعم أقوالها بتقارير ودراسات فنية وتستشهد بأقوال خبراء ومهندسين من المتخصصين في هذا المجال، إضافة إلى التحذيرات المتكررة الصادرة من المسؤولين الأمريكيين إلى الحكومة العراقية عن قرب حصول الانهيار ووجوب اتخاذ الحيطة والقيام بإجرائات وقائية.

وما أعطى الأمر قدرًا كبيرًا من الإثارة هو الدراسات التي سبق إجراؤها عن الانهيار الافتراضي للسد والموجة الفيضانية التي تنطلق في تلك الحالة والتي هي أشبه ما تكون بتسونامي هائل يكتسح حوض نهر دجلة مؤخر السد بالكامل ويأتي على كل شيء فيه من بنى تحتية ومسببًا في هلاك مئات الألوف من البشر وتشريد ما يقرب من عدة ملايين آخرين منهم.

كل هذا دفعنا للتفكير بوضع مؤلَّف عن سد الموصل، وذلك نظرًا لما سمعناه وقرأناه من الآراء الكثيرة والأفكار المشوشة عن هذا السدِّ، إضافة إلى أننا وجدنا أنفسنا في خضم هذه الضجة الإعلامية لكثرة الصحف والمحطات الفضائية التي اتصلت بنا في هذه الفترة طلبًا للتوضيح.

ولعل ما يؤهلنا للكتابة في هذا الموضوع هو أن المؤلِّف الأول كان قد عمل بدرجة رئيس مهندسين في مركز وزارة الري، ولاحقًا رئيسًا لقسم الدراسات والتصاميم في المؤسسة العامة للسدود والخزانات من عام (1979) حتى (1988)، كما لم يبتعد كثيرًا عن ما يجري في سد الموصل للفترة من عام (1988) لغاية (1993)؛ حيث كان المسؤول الفني عن تصاميم وأعمال تنفيذ سد بادوش الذي بوشر ببنائه للحماية من الموجة الفيضانية المحتملة إذا ما انهار سد الموصل؛ أي:

باعتباره سدًّا حمايويًّا (Protection Dam) للوقاية من آثار هذه الموجة. وأخيرًا عمل معاونًا للمدير العام في المديرية العامة للسدود والخزانات من عام (2004) وحتى تقاعده في عام (2006)، حيث أجرى العديد من الدراسات التقييمية لسلامة السد واتخذت الكثير من التوصيات بشأنه. لذا فقد كان شاهدًا على المشاكل التي ظهرت في فترة التنفيذ ولاحقًا في فترة الصيانة والتشغيل.

مما تقدم نستطيع القول بأن هذا الكتاب هو حصيلة الدراسات التي سبق له القيام بها والاطلاع على التقارير الفنية المعدة من قبل الاستشاريين خلال الفترة التي سبقت المباشرة بالتنفيذ وغطت المدة من عام (1952) حتى عام (1980)، إضافة إلى المساهمة بإعداده تقارير مجلس الخبراء العالمي المعين من قبل الوزارة لمتابعة التصميم والتنفيذ بما فيها من مشاكل ومن حلول، وكان مسؤولًا عن رفعها لوزير الري مباشرة. كما أتيحت له فرصة المشاركة في كافة جلسات المجلس المذكور سواء تلك التي عقدت في الموقع أو في دوائر الاستشاري المصمم في كل من بادن وزوريخ في سويسرا، وتابع وحضر فحوصات النماذج الهيدروليكية لمنشآت السد في كل من معهد زوريخ التقني ومختبرات لوزان الهيدروليكية. وأخيرًا فقد شارك وبحكم وظيفته في مناقشة الدراسات التقييمية لسلامة السد التي أجريت في الفترة من عام (2004) لغاية عام (2006)، وحضر جلسات مجالس الخبراء التي عقدت في تلك الفترة في كل من الأردن والولايات المتحدة.

واستنادًا إلى ما تقدم نؤكد أن هذا الكتاب يعتبر توثيقًا أمينًا لكل ما جرى، عدا عن أن ما فيه من تحليلات واستنتاجات هي من مسؤوليتنا الشخصية مبدين استعدادنا لمناقشتها.

وربما من المهم جدًّا وقبل الاسترسال في تصفح هذا الكتاب الإجابة على سؤال كثر توجيهه لنا في الآونة الأخيرة من قبل وسائل الإعلام وهو: **إذا كان موقع سد الموصل معروفًا منذ البداية بكونه موقعًا معقدًا لإنشاء سد كبير فيه بحجم سد الموصل... لماذا إذن كان هذا الإصرار لإنشائه وفي هذا الموقع بالذات؟**

وللإجابة على هذا السؤال المشروع؛ يتطلب التعمق بدراسة التقارير الفنية للشركات الاستشارية الخاصة بدراسات المشروع[1] خلال الفترة من عام (1952) لغاية عام (1980)، وهي خمس من أكبر الشركات الهندسية العالمية المتخصصة، إضافة إلى تقارير التحريات الجيولوجية التي أنجزت خلال تلك الفترة.

وأول ما يسترعي الانتباه في تلك التقارير هو المنافع الكبيرة جدًّا المتوقعة من

إنشاء السد سواء بتوفير كميات هائلة من مياه الري، إلى توليد الطاقة الكهربائية سنويًا وبكميات تكفي لسد جزءٍ كبيرٍ من احتياجات القطر.

ولا نغفل الفائدة الكبرى في توفير الحماية الفيضانية لحوض نهر دجلة في مؤخره وخاصة للعاصمة بغداد.

أما الأمر الآخر؛ فإن كافة تلك الدراسات أجمعت على أن الموقع يعاني من وجود طبقات جبسية ذات قابلية كبيرة للذوبان في الأسس إضافة إلى طبقات طينية غير سميكة. ولكن أي من هذه الشركات الاستشارية لم توصي بعدم إنشاء السد بل على العكس من ذلك فقد قدموا جميعهم تصاميم عديدة بديلة واعتبروا أن مشكلة ذوبان الصخور الجبسية يمكن التغلب عليها باستخدام أساليب التحشية (Grouting) لمعالجتها.

في كل هذا نستطيع القول بأنهم جميعًا وبضمنهم الاستشاري الأخير أظهروا جهلًا كبيرًا بطبيعة الصخور الجبسية وعدم فهم لطبيعة الأسس المعقدة في سد الموصل. من هذا لا يمكن توجيه أصبع الاتهام لأي جهة بأنها وحدها المسؤولة عن ما آلت إليه حالة السد الآن والأخطار التي يثيرها اليوم، إنما هناك تراكم من الأخطاء وسوء التقدير من كافة تلك الشركات على الطلاق.

وهناك تساؤل آخر: إذا كانت الأمور تستدعي بناء هكذا مشروع لفوائده الكبيرة؛ لماذا لم يتجه التفكير بعد إنجاز أول دراسة فنية من قبل شركة ألكسندر كبز ومشاركوه مع مونسيل باسفورد وبافري لدراسة وتنفيذ متتاليه من السدود (Cascade) القليلة الارتفاع في المنطقة المحصورة بين مدينة الموصل والحدود التركية لاحتجاز كمية المياه نفسها التي يوفرها سد الموصل ومعالجة أسس تلك السدود باستخدام جدران قاطعة (Diaphragms) بدلًا من معالجة الأسس بالتحشية، خاصة مع توفر الإمكانات الفنية حينذاك وأن معدات حفر وإنشاء جدران قاطعة بأعماق متوسطة كانت متوفرة عالميًا في ذلك الوقت.

بالطبع، لا يمكننا الإجابة على هذه التساؤلات لجهلنا طبيعة التوجهات السائدة حينذاك في اتخاذ القرارات، ولعدم وضوح الرؤية التامة في موضوع الصخور الجبسية، أو لربما أن إنشاء عدد من السدود بدلًا من سد واحد مكافئ لها جمعًا هو أكثر كلفة.

كلمة أخيرة، نود أن نضيفها في هذا التمهيد: وهو أننا نقوم بالكتابة للمرة الثانية باللغة العربية في موضوع يخص السدود، حيث يصادف المرء العديد من

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press /سد الموصل /سحب ثالث

المصطلحات والكلمات الإنكليزية ذات المعنى الفني الدقيق والمحدد سواء في الجيولوجيا أو الهندسة الجيوتكنيكية وسائر فروع المعرفة الهندسية؛ ولتلافي إعطاء معنى خاطئ أو التسبب في سوء للفهم فقد ارتأينا ضرورة كتابة الأصل الإنكليزي إزاء ترجمة المصطلحات الفنية، خاصة أنه لا يوجد إجماع في تراجم العديد من المصطلحات الفنية إلى اللغة العربية، وعدم شمولية المعاجم الفنية المتخصصة في فروع المعرفة المذكورة، والنقص الواضح فيها، كما قد يتطلب الحال إعطاء تعريف كامل لمصطلح ما أو لعملية محددة، وكانت المرة الأولى عند كتابتنا كتابًا بعنوان: «الزلازل وتصاميم السدود» تم طبعه في منتصف الثمانينات بأعداد قليلة ضمن نشرات اللجنة الوطنية العراقية للهيدرولوجي، وقد واجهت حينذاك المشكلة نفسها، لهذا السبب فقد قمنا في المرتين بإضافة الهوامش التعريفية باللغة الإنكليزية حرصًا على الحفاظ على الدقة التامة.

1 ـ مشاريع السدود في العراق

شهد العراق ازديادًا كبيرًا في واردته المالية بعد توقيع اتفاقية تقاسم الأرباح مع الشركات النفطيه في شباط (1952)، لذا فقد قامت الحكومة بإعداد برامج طموحة للنهوض بواقع البلاد الزراعي والصناعي والاجتماعي؛ فاعتمدت مبالغ كبيرة لتحقيق هذه النهضة. وقد سبق ذلك تشكيل مجلس الإعمار في شباط (1950) بموجب القانون رقم (23 لسنة 1950)، وأنيطت به مسؤولية إعداد الدراسات اللازمة لإقامة المشاريع المختلفة لتحقيق هذا الهدف؛ فكان أن أنجز مجلس الإعمار العديد من الدراسات الفنية والاقتصادية. كما أعدت الخطط لبرمجة تنفيذ العديد من المشاريع في قطاعات الزراعة والصناعة وفي التنمية الاجتماعية والصحية، وبوشر بتنفيذ تلك المشاريع في خطط الإعمار الخمسية المتتالية وحسب توفر الإمكانيات المالية المتاحة.

إن موضوع التوسع في الزراعة المروية وتحسين أساليبها كان أحد العناصر الأساسية في خطط الإعمار، وذلك من أجل تطوير الإنتاج الزراعي والحيواني والتأسيس لقيام الصناعات التحويلية القائمة على الصناعات الغذائية والنسيجية. عليه، تضمنت خطط الإعمار هدفًا رئيسيًا هو السيطرة على الموارد المائية للعراق، واستخدام تلك الموارد لأغراض الري، وفي الوقت نفسه التقليل من مخاطر الفيضانات التي كثيرًا ما تجتاح مساحات شاسعة من الأراضي بالإضافة إلى تهديد العاصمة بغداد.

لقد استفادت تلك الخطط من العديد من المقترحات التي كان المهندس البريطاني السير وليام ولكوكس (William Wilcox) قد طرحها في بدايات القرن المنصرم لتحسين الري والسيطرة على الفيضانات في العراق، حيث كانت الدولة العثمانية قد استعانت بخبرته لتقديم المقترحات بهذا الشأن، إلا ان اندلاع الحرب العالمية الأولى وخسارة الدولة العثمانية تلك الحرب، ومن ثم تقسيم ولاياتها بين دول الحلفاء حال دون تنفيذ تلك المقترحات، اللَّهُمَّ إلا تنفيذ سدة الهندية التي أنشئت في الفترة (1911 ـ 1913) على أنقاض سدة سابقة وبتصميم جديد، ولاحقًا تنفيذ سدة الكوت بين أعوام (1939 ـ 1943) من قبل الحكومة الوطنية.

أما المقترحات الأخرى التي تبناها وطوَّرها مجلس الإعمار فقد شملت إنشاء سدة سامراء وناظم الثرثار لتحويل مياه الفيضانات العالية من نهر دجلة إلى منخفض الثرثار؛ فأنجز العمل في المشروع في الفترة (1950 ـ 1956)، وسدة الرمادي وناظم الورار اللَّذَين أنجزا خلال الفترة (1951 ـ 1956) بعد أن كانت المباشرة قد تمت بهما في نهاية الثلاثينيات وتوقف العمل بهما بسبب اندلاع الحرب العالمية الثانية، وكان الغرض منهما تحويل قسم من مياه فيضان نهر الفرات إلى بحيرة الحبانية وتطوير البحيرة أيضًا لخزن هذه المياه لأغراض الري.

لم تكن مشاريع مجلس الإعمار وليدة ساعتها؛ فقد سبق ذلك تشكيل لجنة متخصصة في مديرية الري العامة التي كان يشرف عليها البريطانيون للقيام بالدراسات وتقديم المقترحات حول تطوير الري في العراق، وقد كانت اللجنة برئاسة المهندس أف. أف. هيك (F.F Haig)؛ لذا سميت اللجنة باسمه: (The Haig Irrigation Development Commission)، وامتد عملها خلال السنوات (1945 ـ 1948)، واكتمل تقريرها سنة (1949)[2]، وتضمن تطويرًا لأفكار المهندس السير وليام ويلكوكس وإضافة خطط ومقترحات جديدة لإنشاء سدود جديدة على نهر دجلة وروافده لأغراض التطوير الزراعي وأعمال الحماية من الفيضان.

ومن تلك الدراسات إنشاء سد دوكان وسد الدبس من أجل تطوير مشروع ري كركوك ـ العظيم، إضافة إلى مقترحات بشأن إنشاء سد الموصل وسدة سامراء وناظم الثرثار على نهر دجلة، وسدة الرمادي وناظم الورار لتغذية بحيرة الحبانية من فياضانات نهر الفرات وناظم سن الذبان لإعادة تلك المياه إلى نهر الفرات لاحقًا للأغراض الزراعية.

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press /سحب ثالث/ سد الموصل/

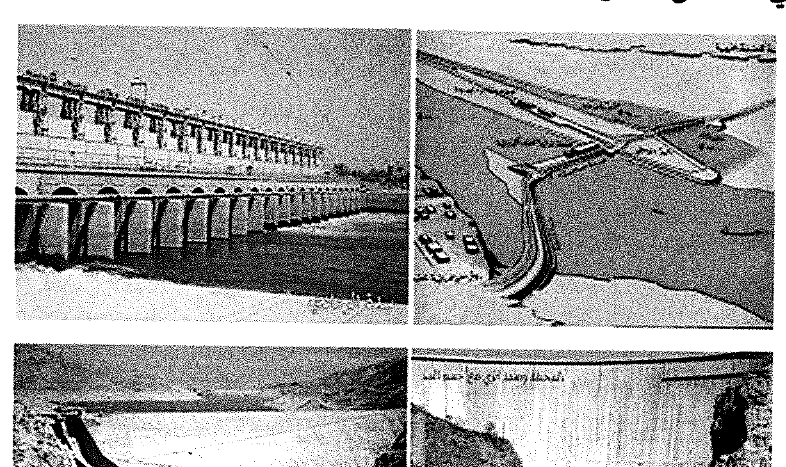
لم يغفل مجلس الإعمار في خططه إنشاء مشاريع السدود الكبيرة لخزن مياه نهر دجلة وروافده وتقليل أخطار الفيضان في حوض النهر والتي سبق اقتراحها من قبل لجنة هيك. وكان أن تمت دراسات وتصاميم وأعمال تنفيذ سد دوكان على نهر الزاب الصغير، وقد تم إفتتاح المشروع سنة (1958)[3]، وكذلك سد دربندخان على نهر ديالى الذي تم افتتاحه سنة (1961) كما أعدت دراسات وتصاميم سد بخمه على نهر الزاب الكبير. وفي الشكل رقم (1) تفاصيل النواظم والسدود التالية:

1 ـ في الأعلى على الجهة اليمنى مخطط لسدة سامراء وناظم الثرثار.

2 ـ في الأعلى على الجهة اليسرى صورة لسدة الرمادي.

3 ـ في الأسفل على الجهة اليمنى صورة لسد دوكان مع المحطة الكهرومائية الظاهرة في مؤخر السد.

4 ـ في الأسفل وعلى الجهة اليسرى صورة لسد دربندخان.




الشكل 1: سدة سامراء وناظم الثرثار وسد دوكان وسد دربندخان

من خلال التوجه نفسه لمجلس الإعمار فقد تمت المباشرة بدراسات سد الموصل والذي هو موضوع بحثنا الآن وكما هو مفصل في الفقرة التالية، ويلاحظ في السدود المنفذة من قبل مجلس الإعمار بأنها لم تتضمن أعمالًا لإنشاء محطات كهرومائية في هذه السدود في المرحلة الأولى على الأقل؛ وذلك لرخص توليد

الطاقة الكهروحرارية بسبب توفر النفط كوقود، وكذلك توفير الموارد المالية لبناء المزيد من المشاريع الاستراتيجية، إلا أن تصاميم تلك السدود قد تضمنت إمكانية إنشاء تلك المحطات لاحقًا كما حصل في محطات التوليد في سدَّيْ دوكان ودربندخان.

3 ـ مراحل دراسات وتصاميم سد الموصل

بوشر بدراسات سد الموصل عام (1952)؛ حيث كلف مجلس الإعمار شركتين بريطانيتين ـ هما: شركة ألكسندر كبز وشركائه (Alexander Gibbs & Partners)، وشركة مونسيل باسفورد وبافري (Munsel Basford and Bafrey) ـ لغرض اختيار موقع لإنشاء السد في منطقة شمال مدينة الموصل وإجراء الفحوصات الجيولوجية اللازمة لتقديم تصميم أوَّليٍّ للسد.

وقد تم بالفعل اختيار محورين محتملين لإنشاء السد وذلك على مسافة (12) كيلومترًا شمال ناحية أسكي موصل قريبًا من قرية ضوء القمر. كما قدمت الشركتان تقريرهما عام (1953)، وتضمن المقترح إنشاء سد ترابي إملائي ذو خزان سعته (8,7) مليار متر مكعب بمنسوب خزن أعلى يبلغ منسوب (320) مترًا فوق سطح البحر كما أن منسوب قمة السد تبلغ (324) مترًا.

قام مجلس الإعمار بعد ذلك، وتحديدًا في عام (1956)، بتكليف شركة هرزا الهندسية الأمريكية (Harza Engineering) بقصد تطوير الدراسة الأولية السابقة، كما كلف المجلس شركة كولجيان الأمريكية (Koljian) لإعداد الدراسات والتحريات اللازمة لتنفيذ مشاريع أروائية للاستفادة من مياه خزان سد الموصل.

فقدمت الأخيرة دراسة ومخططات لإرواء أراضٍ زراعية على جانبي نهر دجلة بمساحة كلية قدرها (250000) هكتار موزعة على: مشروع ري الجزيرة الشمالي، ومشروع ري الجزيرة الجنوبي على الجانب الأيمن من النهر، ومشروع ري الجزيرة الشرقي على الجانب الأيسر من النهر.

أما شركة هرزا الهندسية فقد قدمت تصاميمها الجديدة للسد عام (1960) حيث اعترضت على المحورين المقترحين سابقًا على أساس احتواء الأسس فيهما على صخور جبسية ذات قابلية عالية للذوبان، تتناوب مع طبقات طينية ضعيفة، **واقترحت محورين بديلين:**

أما البديل الأول: فيكون السد بمنسوب تشغيل علوي قدره (320) متر فوق سطح البحر الذي يقابل سعة خزن تبلغ (7,8 مليار) متر مكعب.

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press /سد الموصل/ سحب ثالث

وأما الثاني: يكون فيه السد بمنسوب تشغيل علوي يبلغ (325) متر فوق سطح البحر ويقابل سعة قدرها (13,5 مليار) متر مكعب، ويتم إنشاء السد على مرحلتين، ويكون من النوع الإملائي الحجري مع احتوائه على لب طيني.

بعد قيام ثورة تموز عام (1958) عقد العراق اتفاقية للتعاون الفني والاقتصادي مع الاتحاد السوفياتي، وكان أن تم تكليف مؤسسة تكنوبروم أكسبورت السوفيتية (Techno Prom Export) للقيام بمراجعة الخطط السابقة لبناء السدود ومشاريع الري الكبرى، وكانت دراسة شركة هرزا الهندسية لسد الموصل إحدى فقرات الاتفاقية المذكورة.

وبعد المراجعة قدمت المؤسسة المذكورة تقريرها عام (1962) الذي تضمن تصاميم أولية جديدة للسد، واختارت محورًا بديلًا يبعد (600) مترًا جنوب الموقع السابق، وتضمن التصميم البديل سدًا بارتفاع (83,7) مترًا وبسعة خزن تبلغ (7,7) مليار متر مكعب من المياه يقابله منسوب تشغيل يبلغ (312,4) مترًا فوق سطح البحر، ومنسوب فيضاني علوي يبلغ (330,3) مترًا فوق سطح البحر. وقد حثت هذه المؤسسة - كما فعلت سابقتها شركة هرزا الهندسية - على القيام بمزيد من التحريات الجيولوجية للمحاور المختلفه نظرًا للشكوك التي أحاطت بموضوع وجود الصخور الجبسية في الأسس.

قامت وزارة الإصلاح الزراعي في عام (1964) - وكانت مديرية الري العامة تابعة لها حينذاك - بدعوة المزيد من الشركات بقصد القيام بتحريات جيولوجية إضافية وتقديم تصاميم جديدة للسد في الموقع المختار قرب قرية ضوء القمر على أن تتم زيادة مياه الري لغرض التوسع بالمشاريع الإروائية وإضافة (750000) هكتار في وسط وجنوب العراق في محافظات الموصل وبغداد والكوت والعمارة والناصرية والبصرة، وبذلك تصبح المساحة المروية الكلية من مياه خزان سد الموصل (1000000) هكتار، وهذا يعادل 4 ملايين دونم، (علمًا أن الهكتار = 4 دونم، والدونم = 2500 متر مربع).

وتم توقيع العقد الجديد مع شركة أمتران فويما الفنلندية (Imitran Voima) في الربع الأخير من عام (1967)، لذا استمرت هذه التحريات والدراسات من عام (1968) لغاية عام (1973) حيث تعاقدت شركة أمتران فويما خلال ذلك مع شركة متخصصة بالتحريات الجيولوجية هي شركة جيوتكنكا اليوغوسلافية (Geotechnica) في مقاولة ثانوية، فأنجزت التحريات الإضافية عام (1972)؛ وبذلك قدمت الشركة التقرير النهائي متضمنًا التحريات الإضافية عام (1973).

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press /سد الموصل/ سحب ثالث

عرض التقرير على مؤسسة تكنوبروم السوفيتية لبيان الرأي؛ فقدمت الأخيرة تقويمًا له نهاية عام (1973)، وطلبت إجراء المزيد من التحريات. كما عُرِضَت الدراستان على مجلس خبراء عالمي ـ من خبراء من الولايات المتحدة وفرنسا والسويد ـ الذي قدم ملاحظاته في عام (1974).

ولقد دعت الجهات المسؤولة شركة ألمانية هي شركة هوكتيف وشركائها (Hochtief) منتصف عام (1974) لزيارة الموقع وتقديم عرض للتنفيذ؛ فقدمت عرضًا متكاملًا في أيلول من تلك السنة، إلا أن ذلك لم يثمر عن عقد مقاولة التنفيذ بسبب الملاحظات والتحفظات التي قدمتها الشركة على طبيعة الأسس؛ فكان ولا بد من القيام لاحقًا بإجراء تحريات جيولوجية مكثفة ودقيقة وواسعة عهدت إلى شركة سوليسيف الفرنسية التي قدمت نتائجها عام (1979).

وفي الوقت نفسه حزمت وزارة الري أمرها ووقعت عقدًا للقيام بإعداد التقرير التخطيطي للسد والتصاميم النهائية ومستندات العقود عام (1978) مع اتحاد الاستشاريين السويسريين الذين قاموا في الفترة اللاحقة بتقديم التصاميم التفصيلية، كما عهد لهم بالإشراف اليومي على التنفيذ مناصفة مع شركة أنِرغوبروجكت الاستشارية اليوغوسلافية (Energoprojekt) فيما عرف بـ: (مجموعة سد الموصل الاستشارية) (MODACOM).

وقد بوشر بالتنفيذ في (25) كانون أول عام (1981) وأنجز في (24) تموز عام (1986).

شمل مشروع سد الموصل في الواقع ثلاثة مشاريع مترابطة ومكملة بعضها للبعض الآخر؛ هي: السد الرئيسي والمحطة الكهرومائية الملحقة به، ـ وهو مشروع (Mosul1) ـ. وكذلك السد التنظيمي على مسافة (8) كيلومترات جنوب من السد الرئيسي مع محطة التوليد الكهرومائية الملحقة به، وهو ما سمي (Mosul2). وأخيرًا محطة توليد الخزن والضخ تحت سطح الأرض في قلب جبل وادي المالح، الذي يمثل الجناح الشرقي من جبل طيره على الجانب الأيمن مؤخر السد الرئيسي، كما يقع الخزان العلوي لهذه المحطة على قمة الجبل المذكور، وأعطي مشروع الخزن بالضخ تسمية (Mosul3).

إن التصاميم النهائية لسد الموصل الرئيسي ـ والتي تم التنفيذ بموجبها ـ تشمل: تصميم سد ترابي ذو لب طيني (Core) مرصوص، وقشرتين أمامية وخلفية (Shells) من مادة السبيس المضغوطة، مع تزويد السد بأحزمة من المرشحات الرملية، كما يتضمن التصميم إنشاء مسيل مائي ومسيل اضطراري، إضافة إلى منافذ سفلى للتفريغ السريع للخزان في حالة الطوارئ، ومحطة كهرومائية لتوليد الطاقة الكهربائية، وسوف نتوسع في شرح تفاصيل كافة الأعمال في الفصول اللاحقة.

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/

4 ـ منظومة سد الموصل

تتكون منظومة سد الموصل من ثلاثة أجزاء مترابطة:

* الجزء الأول، وهو الأكبر:

فيتمثل بالسد الرئيسي ومحطة التوليد الكهرومائية الرئيسية بسعة توليدية قدرها (750) ميغاواط، وهو ما اصطلح على تسميته: الموصل الأول (Mosul 1). ويقوم هذا السد بتنظيم الجريان في نهر دجلة عن طريق الخزان الكبير الذي يكونه من أجل إشباع الاحتياجات الإروائية وتوليد الطاقة الكهربائية، وفي الوقت نفسه تحقيق أقصى درجة من الحماية الفيضانية لحوض نهر دجلة أسفله، وبالتالي توفير درجة عالية من الحماية لمدينة بغداد التي كثيرًا ما عانت من فيضانات مدمرة عبر التاريخ.

* الجزء الثاني:

هو السد التنظيمي والمحطة الكهربائية التابعة له، وهو ما اصطلح على تسميته: الموصل الثاني (Mosul 2). ويقع هذا السد على مسافة (8) كيلومترات جنوب السد الرئيسي، ويساوي ذلك مسافة (9,2) كيلومترات إذا ما قيست على مجرى النهر. ويقوم هذا السد بإعادة تنظيم الجريان باحتجاز الإطلاقات العالية من المحطة الرئيسية وإطلاقها وفق جداول الاحتياجات الإروائية، وتوليد الطاقة الكهربائية في الوقت نفسه من المحطة الكهربائية في السد بسعة قدرها (60) ميغاواط.

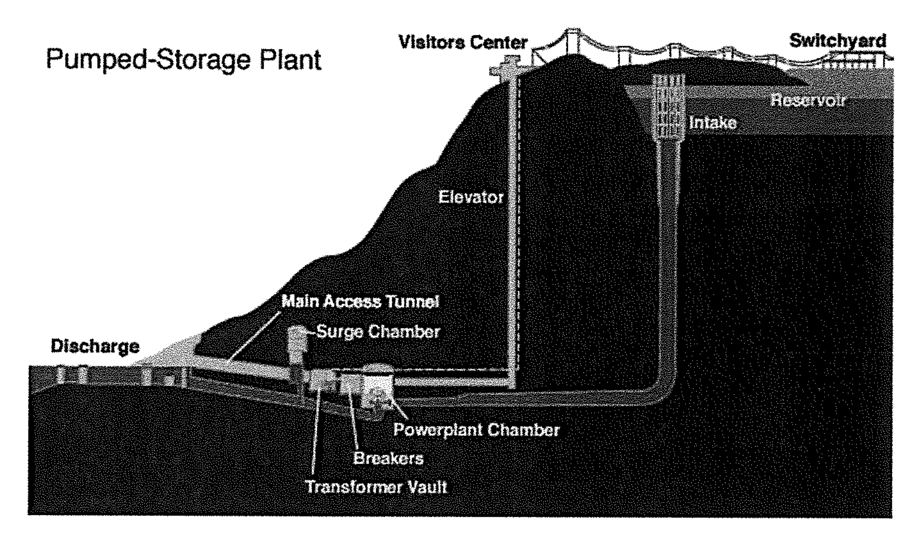
* الجزء الثالث:

يتكوَّن من محطة التوليد بالخزن والضخ (Pump Storage Scheme) وهو ما سمي بـ: الموصل الثالث (Mosul 3). ويهدف إلى توليد جزء من حمل الذروة في الشبكة الوطنية، ومنع تبذير الطاقة الكهربائية المولدة من من المحطات الحرارية في فترات ضعف الطلب على الطاقة، واستعمال هذه الطاقة الرخيصة نسبيًّا لأغراض ضخ المياه إلى الخزان العلوي من المحطة حتى يمكن استعمالها لاحقًا في توليد حمل الذروة ذو القيمة الاقتصادية العالية، وتحقيق الاستقرار في الشبكة الوطنية. بمعنى: أن هذه المحطة تعمل على خزن الطاقة عند ضخها إلى الخزان العلوي ثم استرجاع الطاقة عند إعادة إطلاقها نحو الأسفل، والتوليد من خلال المولدات التي سبق أن عملت كمضخات، فهي: (مولدات ـ مضخات عكسية Reversible Pump Turbines).

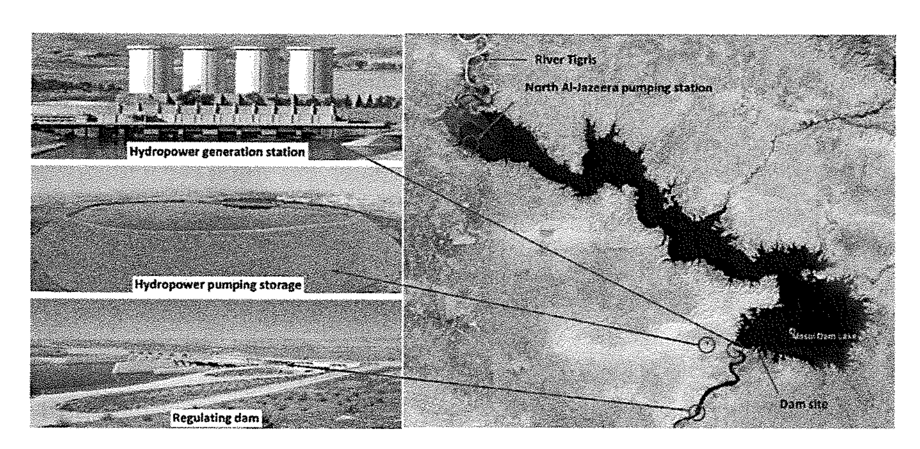
وفي حالة مشروع (الموصل 3)؛ فقد تم إنشاؤه في الضفة اليمنى مؤخر السد الرئيسي، حيث يقع الخزان العلوي الذي تبلغ طاقة الخزن فيه أحد عشر مليون متر

مكعب على قمة طية جبل طيره، بينما تكون قاعة المعدات وقاعة المحولات في داخل الطية. أما نفق تجهيز وصرف المياه (Tailrace Tunnel) فيمتد مأخذه جنوب السد الرئيسي، وتبلغ السعة التوليدية للمحطة (200) ميغاواط. وفي الشكل (2) مخططٌ نموذجيٌ لمثل هذه المحطات.

وتجدر الإشارة إلى أن هناك محطة توليد رابعة ضمن أعمال (موصل 1)؛ وهي محطة توليد القناة المغذية لمشروع الجزيرة الجنوبي، وقد تم إنشاء منفذ الجزيرة نفسه من خلال تنفيذ أعمال السد الرئيسي، ومن المؤمل بناء المحطة نفسها عند تنفيذ المشروع المذكور. ويبيِّن الشكل (3) منظومة سد الموصل بأقسامها الثلاثة.



شكل 2: مخطط نموذجي لمحطة توليد بالخزن والضخ



شكل 3: منظومة مشروع سد الموصل. ويظهر أيضًا موقع محطة ضخ مشروع الجزيرة الشمالي

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/

5 ـ الشركات الاستشارية والمنفذة للمشروع، ومجلس الخبراء العالمي للسد

تعاقبت على تحريات ودراسات وتصاميم سد الموصل عدة شركات عالمية منذ (1952) وحتى الانتهاء من تنفيذه، ويوضح الجدول (1) خلاصة بتلك الشركات.

جدول 1: خلاصة بالشركات الإستشارية التي عملت في تحريات ودراسات وتصاميم سد الموصل

Company	Year	Remarks
,British Companies –Alexander Gibbs and Partners -Munssel Bassford and Bafery	1953	Suggested Dhaw Al-kamar site 12 km north of Aski Mosul Capacity= 8.7 km^3
American Company - Koljian	1956	Al Jazera Projects Studies
American Company - Harza Engineering	1956	Suggested two sites Capacity = 7.8 km^3 Capacity = 13.3 km^3
Soviet Company - Technoprom Export	1962	Suggested site 600m south of Harza Site
Finish Company -Imatran Voima	1965	New site 60 km from Mosul city (Present Site)
Yougoslav Company - Geotechnica	1972	Site Investigation
Finish Company - Imatran Voima	1973	Final Design
French Company - Soleseif	1978	Site Investigations
Swiss Companies - Swiss Consultant Consortum	1978	Planning report and Final designs
Swiss Companies - Swiss Consultant Consortum	1978-1988	Detailed Design and General Supervision
Swiss and Yougoslav Companies (JV) -Swiss Consultants consortium and Energoprogects (MODACOM)	198١-1988	Daily Supervision

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/

وتجدر الإشارة إلى أن اتحاد الاستشارية السويسرية يتألف من أربعة شركات كما هو مبين في جدول (2).

جدول 2: الشركات المؤتلفة في اتحاد الاستشاريين السويسريين

Swiss Consultants Consortium : Which is formed from :-
1. Motor Columbus (Baden)
2. Electro watt (Zurich)
3. Susielectra (Geneva)
4. Societe General pours I' Industri (Geneva)

ويبين الجدول (3) أسماء الشركات الرئيسية التي نفذت الأعمال المدنية لأقسام المشروع الثلاثة، بالإضافة إلى أسماء المقاولين الثانويين لهم:

جدول 3: المقاولون الرئيسيون لمشروع سد الموصل والمقاولون الثانويون

مقاولي الاعمال المدنيه الرئيسيون في اتحاد (جيمود)
GIMOD (German Italian joint Venture for Mosul Dam). Formed of: 1. Hochtief 2. Impergelo 3. Zublin 4. Tropp 5. Italstrad 5. Cogefar

المقاولون الثانويون المتعاقدون مع المقاولين الرئيسيين

1. Kropp (Hydro mechanical Equipments)
2. Rodieo and J.N. Keller (Grouting) with (Geotechnica from Zagreb as a sub-contractor to Rodieo And J.N.Keller

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/

وتعتبر الشركات هذه من عمالقة الشركات في مجالات الإنشاءات العامة من سدود وجسور وطرق وغيرها من أعمال الهندسة المدنية، ويقال الشيء نفسه بالنسبة لشركات الإنتاج الميكانيكي الثقيل ـ كما هو الحال بالنسبة لشركة (Kropp) ـ، إضافة إلى أن الشركات التي قامت بأعمال التحشية هي من أشهر الشركات المتخصصة في هذا المجال. ويذكر أن مقاولي تجهيز ونصب معدات محطات التوليد الثلاثة في (موصل 1) و(موصل 2) و(وموصل 3) هي كما في جدول (4) التالي.

جدول 4: مقاولي تجهيز ونصب معدات المحطات الكهربائية الثلاث

مقاولي تجهيز ونصب معدات المحطات الكهربائيه في المشروع
1. Toshiba (Japan): **The Contractors for Supply and Erecting of Mosul** **Dam Power station (Mosul 1).** **2. Elin Union (Austria):** **The Contractors for Supply and Erection of Mosul Reregulating** **Dam power station) (Mosul 2)** **3. GIE (Italy) :** **The Contactors for Supply and Erection of the Pump storage Scheme (Mosul 3)**

ومما تجدر الإشارة إليه أن رب العمل قام بتأليف مجلس من الخبراء العالميين لغرض مراجعة كافة التقارير والتصاميم التي قدمها الاستشاريون السويسريون، كما قام المجلس المذكور أيضًا بمتابعة أعمال التنفيذ ودراسة المقترحات سواء تلك التي تأتي من الاستشاريين أو المقاولين وتقديم التوصيات بشأنها.

عقد المجلس خلال الفترة من نيسان (1979) ولغاية تموز (1989) عددًا من الاجتماعات ـ بلغ (34) اجتماعًا، بواقع اجتماع واحد كل (3) أشهر تقريبًا ـ، وقد كانت الاجتماعات منصبَّة في البداية على دراسة التقرير التخطيطي والتصاميم

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press /سحب ثالث/ سد الموصل/

الأولية ثم تطويرها للوصول إلى التصاميم النهائية التفصيلية عندما باشر المقاولون بالأعمال. واستمرت الاجتماعات لمتابعة مشاكل التنفيذ، حيث كانت تعقد في موقع العمل عدا عدد من الاجتماعات التي جرت في دوائر الاستشاريين في بادن وزوريخ في سويسرا، تخللتها زيارات للمعهد التقني في زوريخ لمتابعة فحوصات النماذج الهيدروليكية للمنشآت، وكذلك زيارة المختبرات الهيدروليكية في لوزان لمتابعة فحوصات النموذج الهيدروليكي للمسيل الاضطراري ونمذجة الانجراف المتوقع عند اشتغال هذا المسيل.

واشتملت اجتماعات المجلس أيضًا على مناقشة الأعمال التنفيذية والمشاكل التي اعترضتها لوضع الحلول المناسبة، إضافة إلى دراسة كل ما كان يقدم من حلول واقتراحات.

ولقد تابع المجلس عملية الإملاء الأولي ووضع البرامج الزمنية للتحكم بهذه العملية وإنجازها بصورة سليمة. لذا، فإن التقارير التي قدمها المجلس خلال تلك الفترة تعطي لنا سجلًا كاملًا عن أعمال التنفيذ ومشاكله وتعتبر سجلًا أمينًا لكل المجريات، ومنها مشاكل الرشح ومشاكل التحشية التي ظهرت خلال تلك الفترة.

وتكوَّن المجلس من الأعضاء المدرجة أسماؤهم وعناوينهم في جدول (5).

جدول 5: اسماء وجنسيات أعضاء مجلس الخبراء العالمي لسد الموصل

Name	Nationality
I. Franklyn C Rogers	USA
2. Pierre Londe 2a. Pierr Florintine , Assistant to Mr. Londe	France
3. Chrisian Groner	Norway
4. Nasrat Adamo .Member and General Coordinator	Iraq
في مراحل لاحقه أضيف آخرون بينما تعذر حضور الخبير النرويجي كرونر لكبر سنه	
1. Victor F B de Millo	Brazil
2. Hew Fanshawe	Britain
3. Bengt B Br?ms	Sweden

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press /سحب ثالث/ سد الموصل/

وتجدر الإشارة إلى أنه قد تمت إضافة ملحق إلى هذا الكتاب يتضمن ملخصًا لمجريات اجتماعات المجلس وقراراته المتعلقة بتنفيذ أعمال التحشية حصرًا؛ نظرًا للأهمية البالغة لفهم تطور مشكال التحشية في أسس السد وما رافقها من نقاشات وقرارات. ولا يتضمن المرفق المذكور النقاشات التي دارت حول بقية التصاميم والأمور التنفيذية الأخرى، حيث إن تلخيص وعرض تلك المعلومات يتطلب كتابة سفرًا ضخمًا لا يتسع المجال له في هذا الكتاب. ومع ذلك فقد تمت الإشارة إلى مساهمات المجلس وقراراته بالنسبة لتلك الأمور في صلب الكتاب حيثما اقتضى الأمر ذلك.

References / المصادر

[1] "Collection of Reports and Studies on Mosul Dam". Library of the General Directorate of Dams and Reservoirs. Iraqi Ministry of water Resources. 1952-1980.

[2] F. F. Haigh, "The control of the rivers of Iraq and the utilization of their waters". Irrigation Development Commission, Iraq Government, 1949.

[3] G. M. Binnie, Cambell J.G, Edgington R H, Fogden C A. "The Dokan Project: The Dam" The Institue of Civil Engineers Paper No: 6389. Nov.1959.

الفصل الثاني

العوامل الطبيعية

1 ـ الموقع الجغرافي

يقع سد الموصل على نهر دجلة على مسافة (60) كيلومتر شمال غرب مدينة الموصل، على بعد (80) كيلومترًا من كل من الحدود التركية والحدود السورية وكما مبين في الشكل (1)، أما إحداثياته فهي خط الطول (42°49′) وخط عرض (36°37′).



شكل 1: موقع سد الموصل في شمال العراق

إن موقع السد في الجزء العلوي من شمال العراق أدى إلى أن تكون بقية المدن والبلدات العراقية ـ الواقعة على نهر دجلة ـ على مسار الموجة الفيضانية التي ستنشأ عن الانهيار المفترض للسد، والتسبب بأضرار مادية وبشرية فادحة. وبذلك يعتبر السد ـ على الرغم من فوائده البالغة ـ مصدر تهديد دائم لتلك البلدات والمدن. وفي الجدول (1) مسافات تلك المدن والبلدات مقاسة بالكيلومرات على مجرى

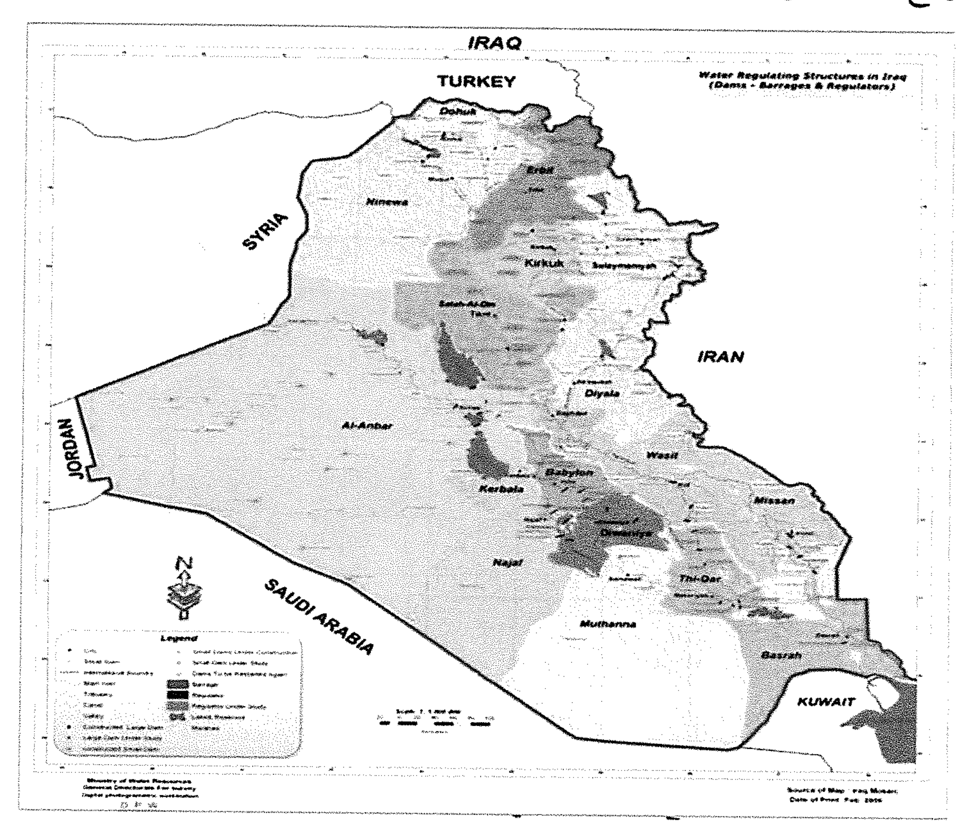
z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Tuesday 13rd March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/

النهر من موقع السد كما تم مسحها حقليًا من قبل الاستشاريين السويسريين لغرض إعداد دراسة الانهيار الافتراضي لسد الموصل وموجة الفيضان المحتملة سنة (1948)[1].

جدول (1): المسافات بالكيلومتر بين موقع سد الموصل والبلدات على مجرى نهر دجلة جنوب السد

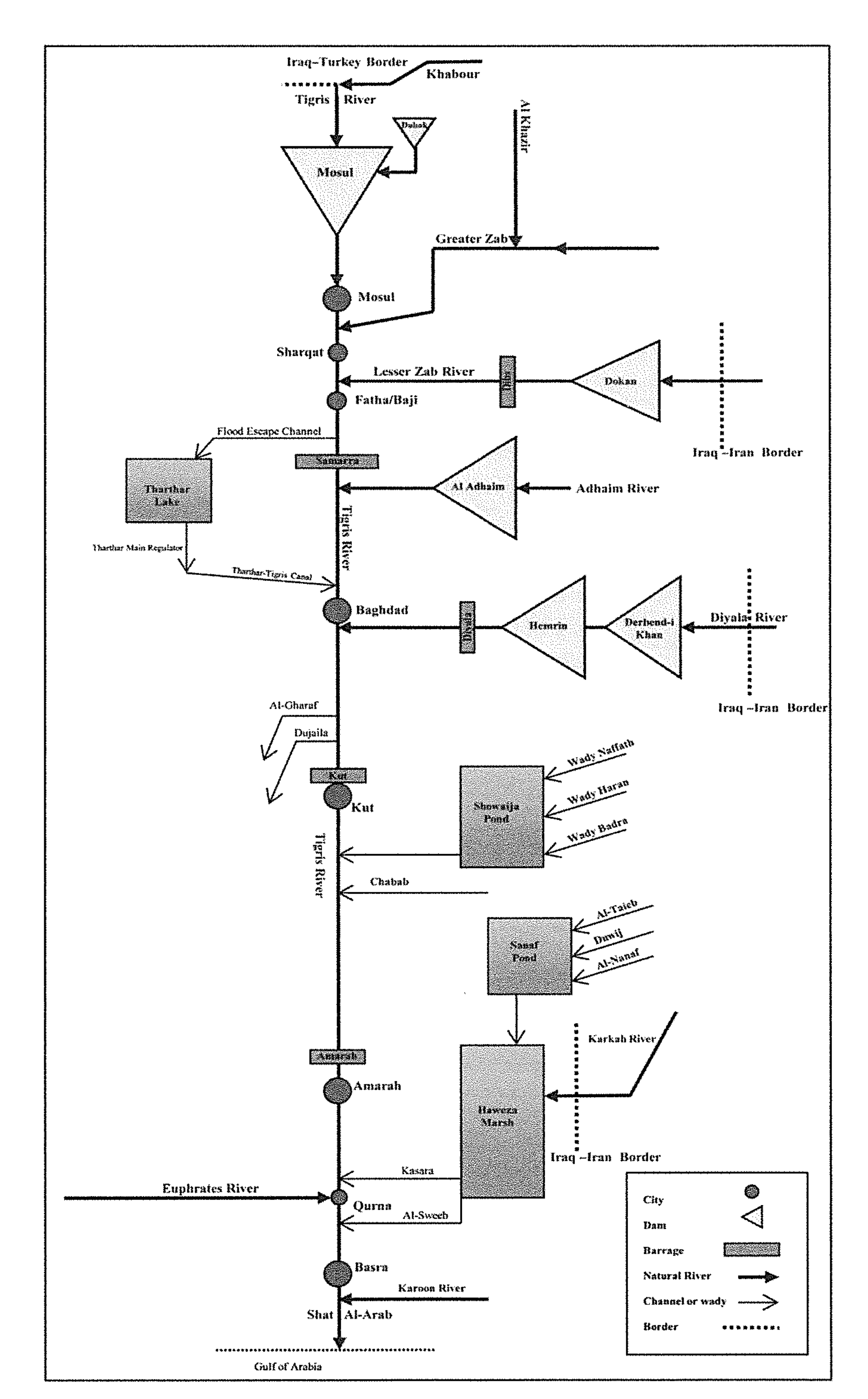
Eski Mosul	Mosul City	Tikret	Samara	Baghdad (North)	Baghdad (center)	Baghdad (South)	Diyala Confluence	Salman Pak
17	69	423	479	638	653	674	685	708

ويبيِّن الشكل (2) خارطة العراق وفيها يظهر موقع السد والخزان، كما تبين أيضًا مواقع العديد من المدن والبلدات إلى الجنوب على مسار نهر دجلة.



شكل 2: موقع سد الموصل في شمال العراق

أما موقع سد الموصل وخزانه ضمن المنظومة المائية لحوض نهر دجلة في العراق فموضح في الشكل (3)؛ حيث يبين هذا الشكل أهميته البالغة في السيطرة على الفيضانات لحوض دجلة الأوسط والأسفل، وكذلك في خزن مياه الري من وارد عمود نهر دجلة من تركيا[2].



شكل 3: مخطط بيان للمنظومة المائية على نهر دجلة في العراق[2]

2 ـ العوامل الجيومورفولوجية والتكتونية (Tectonics)

تعرف الجيومورفولوجيا (Geomorphology) بأنها دراسة شكل سطح الأرض وعلاقته بالتراكيب الجيولوجية والحركة التكتونية خلال ـ أو: التي تلت ـ تكوّن تلك التراكيب.

استنادًا إلى المعطيات من دراسة المقياس الزمني الجيولوجي للأرض؛ فقد تشكلت القارات بوضعها الحالي بعد ملايين السنين من انجراف وزحف تلك القارات وتلاقيها أو تباعدها عن بعضها، ولو بدأنا بعصر المايوسين (Miocene) ـ الممتد من (23,303) مليون سنة إلى (5,333) مليون سنة ـ فإن القارات الكبرى بدأت تأخذ أشكالًا قريبة من وضعها الحالي. لذا نرى بأن قارة أفريقيا قد اصطدمت مع الكتلة الأوراسية (Eurasia) في حافتها الشمالية المكونة لما يسمّى بالصفيحة العربية (Arabian Plate)، واستمرت تلك الحركة الضاغطة خلال عصر البلايوسين (Pliocene) ـ الممتد من (5,333) مليون سنة لغاية (2,58) مليون سنة ـ مسببة ضغطًا كبيرًا على الكتلة الأوراسية، وبالتالي ظهور سلسلتي جبال طوروس وزاكروس إلى الشمال والشرق، وكذلك ظهور البحر الأبيض المتوسط في خلال الفترة الرباعية (Quaternary Periods) والتي تميزت بعدد متتالي من العصور الجليدية المتعاقبة. وقد تعرضت الصفيحة العربية إلى تذبذب مياه البحار فوق العديد من أجزائها وإلى نشوء كميات مختلفة من الرسوبيات، فترى ترسيب الصخور الكلسية في شمال العراق الحالي إضافة إلى ترسبات كاربونية مختلفة ونشوء المتبخرات (Evaporites)[1]، لذا، فإن شمال العراق يقع على الحافة غير المستقرة من الصفيحة العربية.

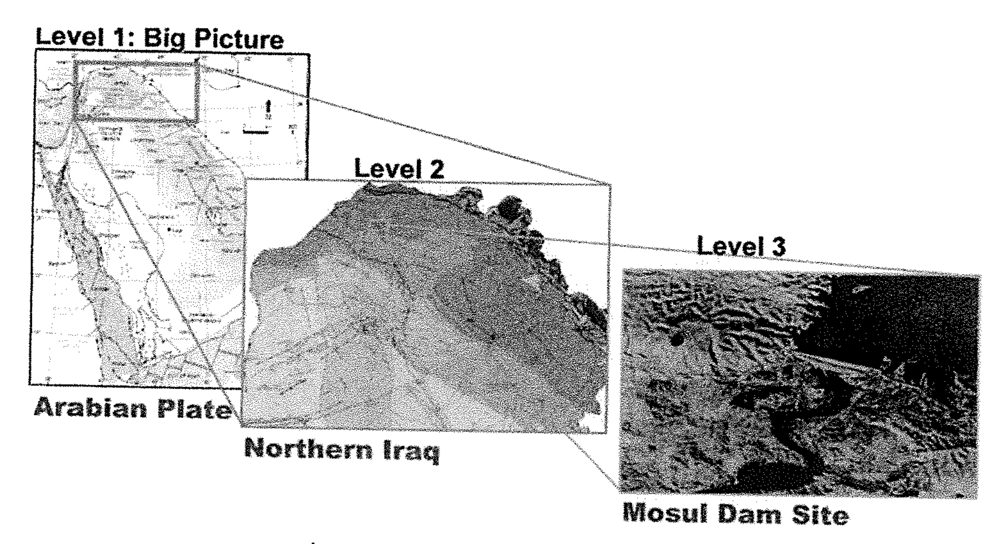
ويمكن أن نقسم سطح العراق إلى ثلاث أحزمة، أو مناطق جيومورفولوجية وتكتونية رئيسية هي:

- منطقة الجبال (The High Folded Zone).
- المنطقة المتموجة (Foothill Zone).
- المنطقة غير المتموجة (Unfolded zone).

أما بالنسبة لمنطقة الجبال فتتكون من حزام جبلي هو سلسلة جبال زاكروس (4300 متر)، ويمتد باتجاه من شمال الغرب إلى جنوب الشرق، ويفصل هذه المنطقة عن التي تليها خط وهمي يمتد من شمال زاخو لغاية السليمانية، ويحاذي

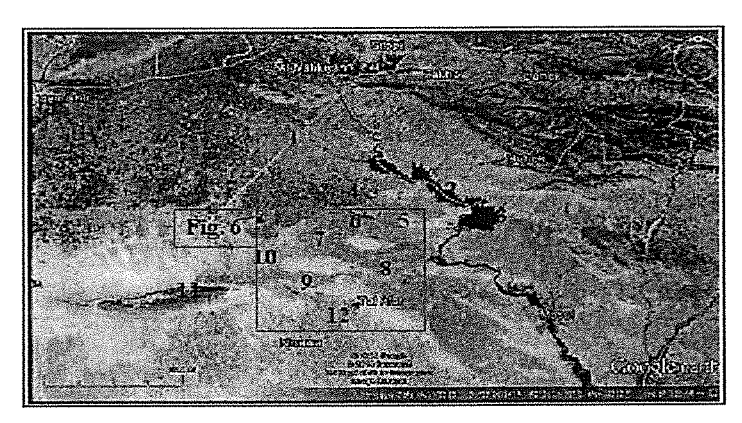
هذه المنطقة من الأسفل المنطقة المتموجة الممتدة جنوبًا حتى الخط الوهمي الذي يفصلها عن المنطقة التالية ـ أي: منطقة سهل نهر دجلة وباقي العراق ـ، يمتد الخط المذكور من مندلي إلى شمال تكريت ومن ثم الحضر. ويبلغ عرض هذا الحزام حوالي (200) كيلومتر، ويتكون من الحدبات والتلال (Anticline) المتوسطة أو القليلة الارتفاع والمتجهة من شمال الغرب باتجاه جنوب الشرق ويفصلها عن بعضها البعض طيات مقعرة (Synclines) مملوءة بالترسبات من الفترة الرباعية. وتمتد المنطقة غير المتموجة بعد ذلك إلى الغرب والجنوب من منطقة التلال مكونة السهل الرسوبي وحوضَيْ نهرَيْ دجلة والفرات.

يوضح الشكل (4) بثلاث مستويات المناطق التكتونية ابتداءًا بالمستوى الأول الذي يمثل الصفيحة العربية، ثم المستوى الثاني الذي يمثل شمال العراق، وأخيرًا المستوى الثالث وهو منطقة سد الموصل.



شكل 4: المستويات الثلاثة لتفاصيل الحالة التكتونية للمنطقة: المستوى الأول: يمثل التاريخ الجيولوجي للحركة التكتونية الواسعة للصفيحة العربية. المستوى الثاني: يمثل بيئة الترسيب والتآكل في شمال العراق. أما المستوى الثالث: فيمثل البيئة الجيولوجية في موقع السد بالأخص محور طية بطمة في الجانب الأيمن، حيث تتمثل نهايتها بطية وادي المالح[3]

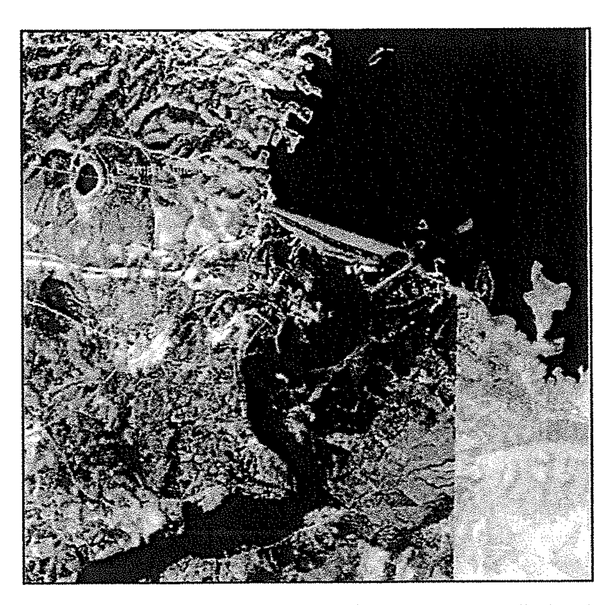
إذن، يتوسط موقع سد الموصل والخزان في منطقة التلال المتموجة، والتي تتميَّز بكثرة الطيات المحدبة قليلة الارتفاع. الشكل (5).



شكل 5: الطيات المحدبة حول منطقة سد الموصل والخزان وحسب تسلسلها: 1: حدبة مشعورة، 2: حدبة دهكان، 3: حدبة قند، 4: حدبة عين زالة، 5: حدبة بطمة الشرقية، 6: حدبة بطمة الغربية، 7: حدبة قوسير، 8: حدبة جبل علان، 9: حدبة ساسان، 10: حدبة اشكفتة، 11: حدبة سنجار، 12: حدبة جبل شيخ إبراهيم (الصورة من Google Earth)[4]

لذا؛ فإن محور السد يربط بين حدبة جبل طيرة على الجانب الأيسر من نهر دجلة وحدبة وادي المالح التي تشكل الجناح الشرقي من حدبة بطمة الشرقية على الجانب الأيمن كما في الشكل (6).

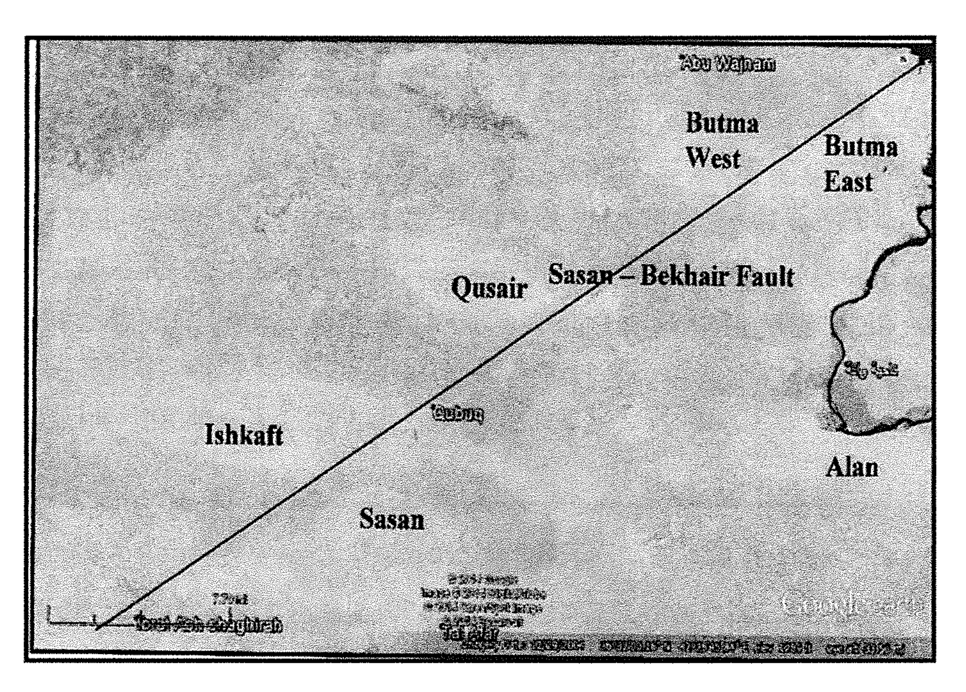
أما من الناحية التكتونية فإن السد والخزان يقعان قريبًا من الحافة العليا للصفيحة التكتونية العربية، والتي تتحرك زاحفة باتجاه الشمال الشرقي وتضغط على منطقة الجبال المنوه عنها. وهناك العديد من التحدبات والطيات الأخرى قرب الخزان منها ما يشكل حافات الخزان نفسه.



شكل 6: محور حدبة وادي المالح وهي الجناح الشرقي من طية بطمة الشرقية نسبة إلى موقع سد الموصل[3]

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press /سحب ثالث/ سد الموصل

وتمتاز المنطقة بوجود فالق رئيسي يخترقها هو فالق ساسان ـ بيخير الذي يمر باتجاه شمال شرق ـ جنوب غرب، ويمر شمال غرب السد مسببًا إزاحات في مواقع الطيات والطبقات الجيولوجية فيها كما في الشكل (7)، وكذلك التسبب ببعض الأشكال الغريبة للعديد من تلك الطيات، وقد تم ترسيم العديد من الإزاحات بين هذه الحدبات والطيات.



شكل 7: فالق ساسان ـ بيخير ومواقع الطيات المحدبة بالنسبة له (الصورة من Google Earth)[4]

لقد أثر فالق ساسان ـ بيخير كثيرًا في مواقع التحدبات في المنطقة، وسبب إزاحات في التحدبات من جهة وبين التتابع الطبقي الصخري فيما بينها، وهذا يفسر الاختلاف الواضح في التركيب الطبقي بين الضفة اليمنى والضفة اليسرى على جانبي السد؛ كما يفسر وجود العديد من الفوالق الثانوية في المنطقة. وهناك رأي أيضًا حول وجود فالق آخر عميق في المنطقة هو فالق سنجار ـ دهوك ـ عماديه، إلا أن الباحثين قد اختلفوا على وجوده[5].

إن تركيب الوحدات المورفولوجية الرئيسية في المنطقة رسوبي يمتد من عصر المايوسين (Miocene) وحتى العصور الحديثة (Recent)، التي تعرضت كثيرًا لعوامل التعرية، وتظهر فيها طبقات من الصخور الجبسية والصخور الكلسية التي تظهر خاصة في الأوجه الخارجية لجانبي التحدبات، بينما تظهر طبقات من الصخور

الرملية في بعض الوحدات المورفولوجية الأخرى تتتابع مع طبقات من الصخور الطينية (Clay stone)، وفي هذه الطيات يكون أحد الوجهين ذو انحدار بسيط بينما يمتاز الوجه الآخر بالانحدار الشديد أو حتى الانحدار العمودي بما يعرف (Cuesats).

إن أحد أهم المظاهر الجيومورفولوجية الأخرى في منطقة سد الموصل هو كثرة ظاهرة تكهف الصخور بسبب تعرضها للذوبان بالمياه (Karstification) التي تبدو واضحة بكثافة في منطقة السد والخزان، ومن أشكالها المميزة هي وجود الخسفات الأرضية (Sinkholes)، التي عادة ما تتكون في طبقات الصخور الكلسية أو طبقات الصخور الجبسية، وتكون الخسفات في الطبقات الكلسية دائرية أو بيضوية فوهتها العليا بقطر يتراوح بين (5 ـ 20) متر، أما عمقها فيتراوح بين (1 ـ 15) متر، أما في الطبقات الجبسية فتكون في الغالب بقطر يتراوح بين (1 ـ 3) متر وبعمق يتراوح بين (1 ـ 8) متر، وفوهتها العليا كثيرًا ما تكون غير منتظمة ويبدو عليها بوضوح آثار جريان المياه، علمًا أن الخسفات الأرضية التي ظهرت في موقع سد الموصل وتحديدًا في الطبقات الجبسية تجاوزت في أبعادها هذه الأرقام.

3 ـ الترتيب الطبقي للتكوينات في منطقة سد الموصل (Stratigraphy)[2]

يتمثل الترتيب أو التراصف الطبقي للصخور في موقع سد الموصل عامة بتكوينات رسوبية ترجع في تاريخها إلى عصر المايسوين (Miocene) وتتدرج بالعمر حتى العصر الحديث.

ويمكن تمييز الترتيب الطبقي التالي من الأعلى إلى الأسفل:

ـ الرسوبيات الحديثة (Alluvium).

ـ ترسبات الشرفات أو المصطبات (Terraces) من عصر البلايستوسين (Pleistocene).

ـ تركيب الفارس الأسفل (Lower Fars) ويسمّى أيضًا (تركيب الفتحة) ويتمثل بالسلاسل التالية من الطبقات:

1 ـ سلسلة الطَّفل الأعلى (Upper Marl series).

2 ـ طبقة الـ (F-bed).

3 ـ سلسلة الطفل الأسفل (Lower Marl Series).

4 ـ تركيب الجريبي (Geribe).

5 ـ تركيب البوكسايت (Buxite)[3].

تكون **الرسوبيات الحديثة** من الطمي الذي يملأ مجرى النهر وتتكون من الحصى والرمل، وقد استخدمت تلك المواد بعد معالجتها في المرشحات الرملية والمرشحات الحصوية كما استخدمت أيضًا للأعمال الخرسانية. أما قشرة السد في المقدم والمؤخر (u/s and d/s Shells) فقد استخدمت هذه المواد فيها بشكلها الخام إضافة إلى استعمالها في أعمال الخرسانة المحدولة؛ أي: الرولكريت (Rollcrete).

أما **ترسبات الشرفات أو المصطبات (Terraces)** فترجع إلى عصر البلايستوسين (Pleistocene)، وتتكون من خليط الحصى والرمل المتصخرج بشكل تكتلات وتسمّى بالمدملكات (Conglomerates)، حيث تترابط هذه المكونات بمادة كلسية رابطة وبدرجات متفاوتة. وتملأ هذه المادة المنخفضات القديمة بعدة مستويات، ويعتقد بأن ترسيب هذه المواد حصل بهذا الانتشار لوجود سهل فيضاني واسع كان يغطي أجزاء كبيرة من المنطقة، وقد حصلت عملية الترسيب في طبقات عدة وفي مستويات متتالية بين مستوى (305) لغاية مستوى (315) متر فوق سطح البحر.

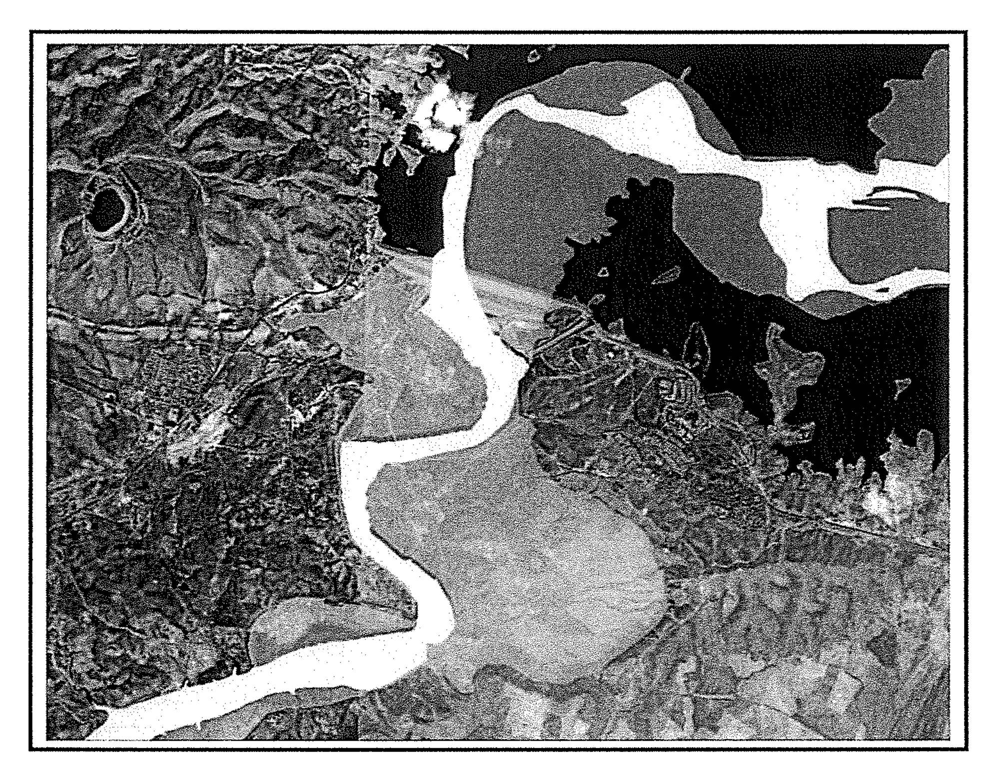
وظهرت هذه التكتلات في جزء من حفريات أساسات السد تحت اللب الطيني في الجانب الأيسر، وتمت إزالتها بالنظر لعدم انتظام سمكها ودرجة ترابط موادها واختلاف الحجم الحبيبي لدقائقها مما يعني اختلاف درجات تحملها ونفاذيتها. ويظهر الشكل (8) السهل الفيضاني لنهر دجلة قبل إنشاء السد، وقد تم تسقيط موقع السد عليه مبينًا المساحات المتكونة من الرسوبيات الحديثة والشرفات، وقد استخدمت مساحات واسعة منها خاصة في المقدم كمقالع للحصى والرمل الذي استعمل عند بناء السد كما ذُكر سابقًا.

وكما تم بيانه سابقًا تظهر بعد ذلك التركيبات الجيولوجية الأقدم كلما نزلنا بالعمق، فيبرز **تركيب الفارْس الأسفل (Lower Fars Group)** الذي يعود تاريخه إلى عصر المايوسين (Miocene) وقد أطلق عليه بعض الباحثون اسمًا محليًّا هو: (تكوين الفتحة)[6]؛ **ويتكون من:**

* **سلسلة الطَّفل الأعلى (Upper Marl Series)**[4]: وتظهر هذه السلسلة من الطبقات في الجانب الأيسر مكونة أسس السد من النقطة التي يبدأ فيها نفق الدخول إلى رواق التحشية، وتستمر في أساسات المنشأ الصدري للمسيل (Spillway Headwork)، وقناة التصريف الخاصة بالمسيل (Spillway Chute)، ومن ثم السد الثانوي (Saddle dam)، ويلاحظ غيابها في مقطع النهر بسبب التآكل.

أما في الجانب الأيمن وفي مقطع النهر فقد تآكلت هذه السلسلة بسبب التركيب التحدبي لطية وادي المالح، ولكنها تنكشف (Outcrops) في الخزان مقدم السد وكذلك في مؤخَّره.

وتتكون هذه الطبقات من حجر الكلس الطفلي (Marly Limestone) وطبقات المارل؛ وهي جميعها طبقات كثيرة التصدعات والتشققات، وتبدو صخور هذه السلسلة أشبه بالبريشيا (Breccias)[(5)] ذات مواد رابطة طينية.



شكل 8: المساحات المظللة في مجرى النهر تبين مساحات السهل الفيضي للنهر قبل إنشاء السد وهي من الرسوبيات الحديثة ومن تكتلات الشرفات، وقد استخدم جزءٌ كبيرٌ من تلك المساحات الواقعة مقدم السد كمقالع للمواد الحصوية والرملية للأعمال الإنشائية[3]

يعقب سلسلة الطَّفَل الأعلى **طبقة صخور الـ (F-bed)** وهي طبقة بسمكٍ بحدود (20 ـ 24) مترًا، وتظهر منكشفات (outcrops) هذه الطبقة جلية في الجانب الأيسر في جزء من أساسات المنشأ الصدري للمسيل (Spillway Headwork)، وكذلك تحت قناة المسيل (Spillway Chute)، كما تنكشف أيضًا في الجانب الأيمن والأيسر من مقطع النهر.

إن القسم العلوي من طبقة (F-bed) تتكون من حجر الكلس القاسي، إلا أن

الطبقة بصورة عامة تعاني من كثرة التشققات والتصدعات فيها وحتى وجود مساحات متشظية فيها، حيث تتماسك الشظايا المتفتتة مع بعضها بمادة كلسية رابطة من الكاربونات مكونة بريشيا تشابه البريشيا الجبسية. ويتداخل الجزء السفلي من هذه الطبقة مع طبقات من الطَّفل. ويعزى تشقق هذه الطبقة إلى أنه جاء نتيجة للتمدد الحجمي الحاصل في طبقات الأنهايدرات (Anhydrite)[6] اللامائية الواقعة تحتها عند تحولها إلى صخور الجبسم (Gypsum)[6] بعد امتصاصها للماء، حيث تبلغ الزيادة في الحجم عادة بحدود (50%) إضافة للنشاط التكتوني في المنطقة.

* نزولًا بعد ذلك في العمق تبدأ **سلسلة الطَّفل الأسفل** بالظهور وتتكون من تداخل طبقات مختلفة من الأنهايدرايت الجبسية مع صخور الكلس الطفلي أي المارلي (Marly Limestone) وطبقات كلسية أخرى مع تداخل شرائح خفيفة من الطين، ويبلغ أقصى سمك لهذه السلسلة بحدود (180) مترًا، ويختلف هذا الثخن من موضع إلى آخر حسب درجة ذوبان صخور الأنهايدرايت الداخلة فيها.

ويتخلل هذه السلسلة في الجانب الأيسر ومقطع النهر أربعة طبقات من البريشيا الجبسية (Gypsum Breccias) وقد أطلق عليها تسميات حسب تسلسل ظهورها من الأسفل إلى الأعلى وهي: (GB0) و(GB1) و(GB2) و(GB3). وبالنظر للمشاكل البالغة التي ظهرت في تحشية طبقات البريشيا هذه عند تنفيذ ستارة التحشية العميقة تحت السد وتسببها بتكون تكهفات واسعة، فسوف نعود إلى ذكرها لاحقًا. ومن الجدير بالذكر أن أساسات معظم منشآت السد تقع فوق سلسلة الطفل الأسفل.

يمكننا إيجاز التسلسل الدقيق لطبقات هذه السلسلة من الأعلى إلى الأسفل كما يلي:

- أولًا: تَتَابُع الصخور الطينية وطبقات الجبسم/الأنهايدرايت وطبقات الطَّفل المتشققة وبعض طبقات الحجر الكلسي الطباشري، ويكون الثخن الكلي لهذا التتابع حوالي (150) مترًا.

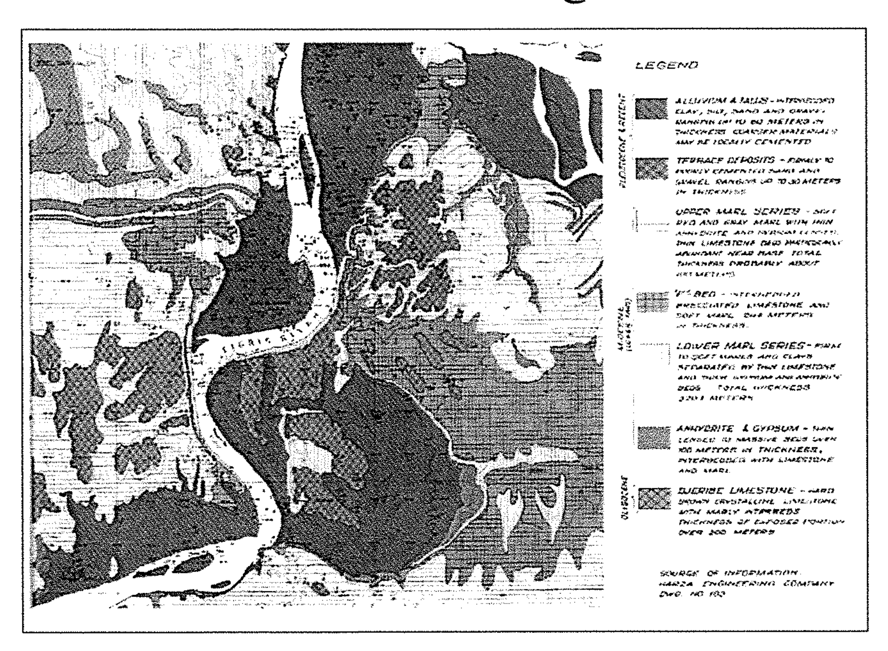
- ثانيًا: تتابع الطبقات الطباشيرية بثخن (20 - 30) مترًا من الطفل الطباشيري (Chalky Marl) وصخور الكلس الطفلي (Marly Limestone)، وتتميز هذه الطبقة بالنفاذية العالية للمياه وخاصة الأجزاء الواقعة فوق خط الكارست (Karsts Line)[7] أو تحته مباشرة. كما تكثر فيها التجاويف المليئة بمادة الجبسم.

* أما التكوين التالي بعد تكوين الفارس الأسفل (الفتحة) فهو: **تركيب الجريبي (Geribe)** الكلسي.

ويتكون **تركيب الجريبي (Geribe)** في الغالب من طبقات من الصخور الكلسية والكلسية الدولوماتية (Dolomitic Limestone)[8] إضافة إلى طبقات طينية خفيفة وتمتاز الصخور الكلسية في هذا التكوين عامة بكثرة التصدعات والتشققات فيها، إضافة إلى كثرة الفجوات والنقر (Vugs) والقنوات الذائبة خاصة في السطوح الفاصلة بين الطبقات، كل ذلك يجعلها ناقلة جيدة للمياه الأرضية خاصة في تلك الأجزاء الواقعة فوق خط الكارست المنوه عنه سابقًا، ويتراوح سمك تكوين الجريبي بصورة عامة بين (50) مترًا إلى (60) مترًا، يليه بعد ذلك ما اصطلح عليه خطأ بتركيب البوكسايت (Bauxite).

* **طبقة البوكسايت:** وهي مجموعة من الطبقات الطينية المتتالية التي سميت بهذا الاسم خطأ في بداية أعمال التحريات؛ حيث اشتبه بكونها حاوية على خامات الألمنيوم، وذلك بالنظر إلى لونها الأحمر البني الغامق. وتستمر هذه الطبقات تحت أساسات السد، وتظهر في مواقع محدودة قريبة من السطح في الجانب الأيمن، وتبلغ من الثخن ما يتراوح بين (1) متر إلى (25) متر، مما يعزز الاعتقاد بأنها قد عانت من التآكل في سطحها الأعلى قديمًا. ويمكن اعتبارها طبقة صماء بالنظر لنفاذيتها القليلة جدًّا، وإن كانت متشققة في مواقع محدودة جدًّا قرب السطح في الجانب الأيمن.

وفي الشكل (9) خارطة جيولوجية لمنطقة سد الموصل مبينة التراكيب الجيولوجية الظاهرة على السطح.

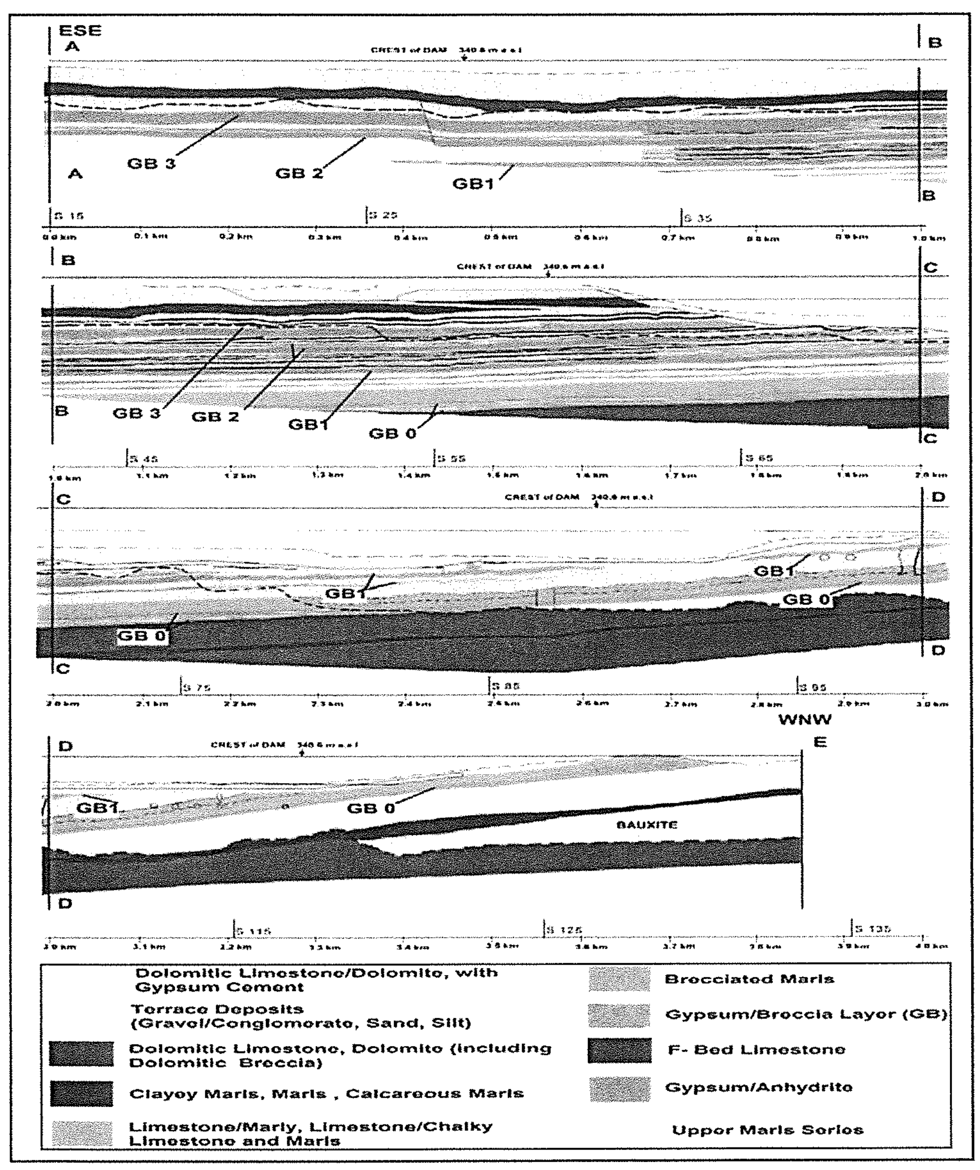


الشكل (9): الخارطة الجيولوجية لموقع سد الموصل[7]

أما في الشكل (10) فيبيِّن المقطع الشاقولي للتتابع الطبقي للتراكيب الجيولوجية في أساسات السد في مقطع النهر.

شكل 10: مقطع يمثل أسس سد الموصل في مقطع النهر[8]

أما الشكل (11) فهو للمقطع الجيولوجي على محور سد الموصل، مبينًا تتابع كافة الطبقات الجيولوجية، وقد تمت تجزئة المقطع إلى أجزاء، وترتيب هذه الأجزاء فوق بعضها البعض لتسهيل قراءتها ابتداءً من نهاية السد في الجانب الأيسر في قمة الرسم.



شكل (11): مقطع جيولوجي على طول محور السد مبينًا التتابع الطبقي للتكوينات[9]

4 ـ بعض الخصائص الجيولوجية المهمة في سد الموصل

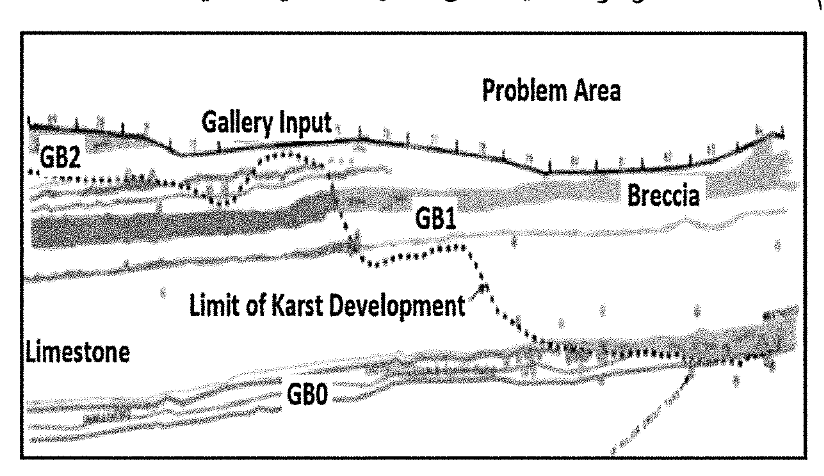
إضافة إلى ما سبق شرحه من مظاهر جيومورفولوجية وتكتونية، وكذلك ما تم سرده في مجال التتابع الطبقي للتراكيب، فهناك بعض الخصائص الجيولوجية التي تسترعي الانتباه ويتوجب التوقف عندها قليلًا ؛ من أجل تأكيد أهميتها، **ومن هذه الخصائص**:

*** أولًا: التجوية (Weathering):**

يقصد بالتجوية: مجموع التغيرات الناتجة عن عوامل المناخ والمياه الأرضية والتي تؤثر في الخواص الفيزيائية والكيميائية للمعادن المكونة للصخور. وتلاحظ آثار عملية التجوية بصورة جلية في أسس سد الموصل، وتمتد إلى عمق يتراوح بين (60) متر إلى (90) متر اعتمادًا على نفاذية الطبقات الصخرية. ويمكن تحديد الحد الأسفل الذي تصله عملية التجوية بما يسمّى مستوى الذوبان والتكهف (Karsts Level).

ومن مظاهر التجوية (بالإضافة إلى حصول الذوبان في الطبقات الكلسية والجبسية): حصول تغيرات في ألوان صخور الطفل والصخور الكلسية بدرجات متفاوتة، إضافية إلى معاناة الصخور من ظاهرة التفتيت (Friability) في بعض أجزائها، خاصة فوق مستوى التكهف والذوبان.

وفي شكل (12) خط الكارست الذي يحدد مستوى الذوبان والتكهف، وقد حُدد شكل هذا الخط بناءً على معطيات الحفر الجيولوجية الاستكشافية التي أجريت على طول محور السد، وتمت فيها فحوصات النفاذية باستخدام طريقة لوجون (Lugeon Test)[9]، وكذلك بفحص نوعية اللباب الصخري المستخرج. ولقد استخدم هذا الخط كمؤشر لتحديد عمق ستارة التحشية العميقة للسد.



شكل 12: خط الكارست المنقط كما تم تحديده نتيجة فحوصات النفاذية في الثقوب الجيولوجية الاستكشافية

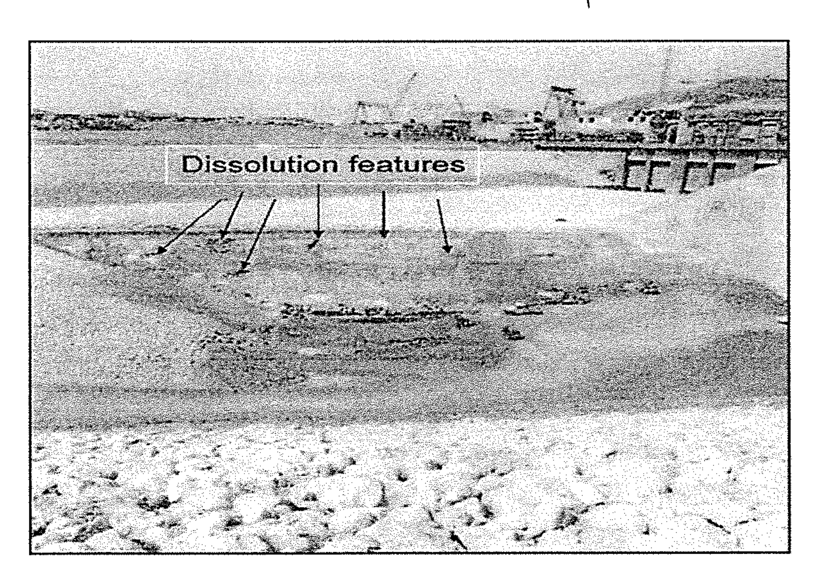
z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/

* ثانيًا : الذوبان والتكهف (Karstification) :

إن كافة أنواع الصخور في موقع سد الموصل هي من الصخور التي يمكن أن تتأثر بظاهرة الذوبان والتكهف سواء كانت تلك الصخور كاربونية (الصخور الكلسية، صخور الطفل الكلسية، صخور الكلس الطفلي)، بالإضافة إلى المتبخرات (Evaporites) وهي (صخور الجبسم وصخور الأنهايدرايت)، يضاف إليها الأشكال الانتقالية بين هذين الشكلين.

لقد لوحظ وجود مختلف أشكال الكارست على السطح حول موقع السد من خسفات أرضية وكهوف ذائبة وقنوات مفتوحة، كما لوحظ وجود العديد من عيون الماء ـ خاصة في شمال غرب حدبة وادي المالح ـ وهي تتدفق من خلال طبقات من الصخور الجبسية.

ومما يجدر الإشارة إليه أن ظاهرة الكارست هذه منتشرة بصورة واسعة في المنطقة؛ فقد تم اكتشاف مجرًى تحت أرضي تتدفق فيه المياه في الضفة اليمنى من موقع السد التنظيمي الذي يقع على بعد (8) كيلومترات مؤخر السد الرئيسي ـ وهو مجرى مكتمل الذوبان ـ، وقد تم تتبعه لمسافة حوالي (60) مترًا. ويوضح الشكل (13) بعض التراكيب من الصخور الجبسية والبريشيا التي ظهرت في الحفريات عند إنشاء سد الموصل، وتبدو عليها ـ وبصورة واضحة جدًا ـ آثار الذوبان من تكهفات مختلفة الأشكال والأحجام.

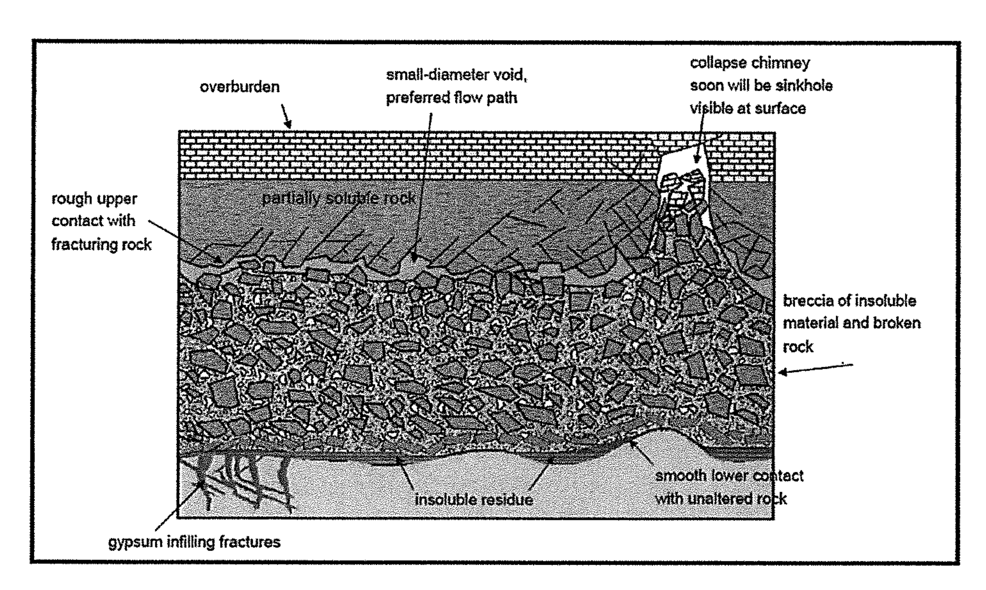


شكل 13: مظاهر الذوبان الواضحة في حفريات سد الموصل على صخور الجبسم والبريشيا[3]

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/

في المرحلة الأولى ـ عادة ـ من تكوّن الكارست؛ فإن جريان المياه يكون أولًا من خلال التشققات البدائية والتصدعات، ولكن استمرار هذه الجريان والذوبان المصاحب له يؤدي إلى حصول تكهفات ومجاري ذائبة متطورة، وهذا يعني تغير نفاذية الطبقة الصخرية من حالتها الأساسية الأولية إلى النفاذية الثانوية التي تتميز بها حالة الجريان العالية.

أما التحريات الجيولوجية التي تمت من خلال حفر الثقوب الجيولوجية الاستكشافية فقد مكنت من ترسيم وتحديد الطبقات الجيولوجية المختلفة وحصر حالات الكارست المنتشرة فيها. ونظرًا لكثرة المعلومات التي تم الحصول عليها فسوف نقتصر على ذكر ظاهرة الكارست في طبقات البريشيا الجبسية لكونها قد تكونت أساسًا كناتج من نتائج عملية الذوبان ولتكهف هذه الطبقات، وهي: طبقات (GB0)، و(GB1)، و(GB)، و(GB2)، و(GB3). وفي الشكل (14) رسمًا توضيحيًّا لكيفية تكوّن البريشيا الجبسية.



شكل 14: يوضح المرتسم كيفية تكون البريشيا الجبسية[10]

ومن خواص هذه الطبقات المهمة: الصعوبة البالغة في تحشيتها؛ نظرًا لتركيبتها المعقدة؛ فقد تكونت نتيجة لوجود قنوات ذائبة في طبقة صخور الجبسم (المبينة في الشكل باللون الأخضر)، وباستمرار الذوبان وتكوّن تكهفات كبيرة فإن قسمًا من الطبقة الجبسية ينهار ويتهشم إلى شظايا ودقائق تترسب في الجفوة، كما أنه ونتيجة

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/

لجريان مياه الرشح من خلال الطبقة الكلسية الواقعة فوق طبقة الجبسم فإن جزءًا من هذه الطبقة الكلسية يتآكل أيضًا، وتنجرف القطع الكلسية الصغيرة لتضاف إلى الترسبات الجبسية. كذلك فإن الطبقة الطينية فوق طبقة الصخور الكلسية هي أيضًا شديدة التشقق، فيؤدي ذلك إلى انجراف دقائق الطين من طبقة الطفل المتهشمة والتي تقع فوق الطبقة الكلسية لتضاف إلى المواد المتراكمة داخل القناة الذائبة مشكلة كلها طبقة غير متجانسة من دقائق الطين الناعم كمادة رابطة هشة (Matrix) وشظايا وقطع صلبة ناعمة من الجبسم والأنهايدرايت وحجر الكلس.

ونظرًا للتركيب غير المتجانس والمعقد لهذه الطبقات فقد أثبتت بأنها صعبة جدًّا عند التحشية، وأن مواد التحشية التي تتقبلها سرعان ما تنجرف بتأثير مياه الرشح، كما أن دقائق الطين في المادة الرابطة تنجرف أيضًا بهذه المياه إذا ما ازداد الضاغط المائي عليها، وبانجراف المادة الرابطة تنجرف الدقائق الصلبة معها؛ لذا فإن هذه العملية هي أحد المشاكل الكبيرة في أسس سد الموصل؛ مما يقتضي تكرار وإعادة تحشية هذه الطبقات بصورة روتينية ومستمرة.

*** ثالثًا: طبقات البريشيا الجبسية (GB):**

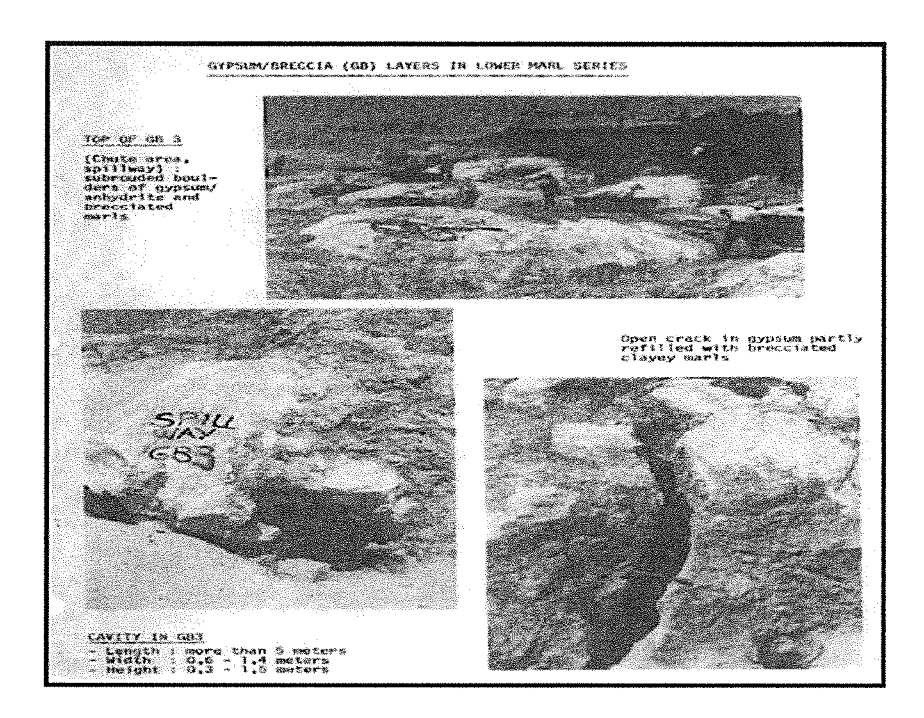
تنتمي كافة هذه الطبقات إلى سلسلة الطفل الأسفل، وتمتاز بتعرضها الشديد للتجوية والذوبان والتكهف، بحيث يمكن اعتبارها أحد أهم وأعقد المشاكل في أسس سد الموصل؛ سواء من حيث معالجتها، أو من حيث تسببها بحصول المزيد من التخسفات ومجاري الجريان في الأسس.

وقد كشفت التحريات الجيولوجية الدقيقة عن عدد من هذه الطبقات؛ وهي ـ من حيث التسلسل من الأعلى إلى الأسفل ـ: طبقة البريشيا الجبسية الثالثة (GB3)، وطبقة البريشيا الجبسية الثانية (GB2)، وطبقة البريشيا الجبسية الأولى (GB1)، بالإضافة إلى الطبقة الجبسية الأساس (GB0). وهناك عدد من الطبقات الوسطية بين هذه الطبقات من الجبسم/ أنهايدرايت المتأثرة بالذوبان والتكهف بدرجة أو بأخرى.

وفيما يلي نبذة عن كل من هذه الطبقات:

● **(GB3)**: وتمثل هذه الطبقة أعلى طبقة من طبقات البريشيا الجبسية الموجودة في سلسلة الطفل الأسفل. وقد برزت في حفريات أسس قناة تصريف المسيل (Spillway Chute) بطولٍ بحدود (50) مترًا، وكذلك في جانب من حفريات منشأ مذب المسيل (Spillway Flip Bucket).

إن الشكل (15) التالي يبين صور الطبقة، حيث يلاحظ أنها مكونة من كتل كبيرة من صخور الجبسم الشديد التكهف والتشقق، وتكُون هذه الكتل مدوَّرة الأشكال ويتخللها شقوقًا عميقة مملوءة بالمواد الطينية المكوَّنة من الطفل المتفتت ذي الألوان الحمراء والخضراء، وتكون هذه الطبقة في بعض المواقع الأخرى مكوَّنة من الطفل المتفتت بشكل كامل حيث إن الجبسم/أنهايدرايت قد اختفى بأكمله من حدة عملية الذوبان.



شكل 15: منظر لطبقة من (GB3) ظهرت في حفريات أجزاء من منشأ المسيل

● **(GB2)**: وهي الطبقة الثانية في العمق بعد طبقة (GB3)، وتقع على عمق (20 ـ 25) مترًا من تلك الطبقة، ويتراوح سمكها بين (10 ـ 12) مترًا، ويلاحظ بأنها تمتد تحت جسم السد من الكيلومتر (475 + 0) وحتى الكيلومتر (100 + 2) بشكل طبقة منتظمة من صخور الجبسم/ أنهايدرايت، تتحول بعد هذه المحطة فتزداد نسبة البريشيا وخاصة بين الكيلومتر (100 + 2) لغاية (650 + 2). ولقد تم كشف هذه الطبقة في حفريات منشأ رواق التحشية (Grouting Gallery) الواقع في أسفل الخندق القاطع للب السد (Cutoff Trench) في الجزء الممتد من كيلومتر (380 + 2) حتى الكيلومتر (530 + 2)، وتظهر عندئذٍ بشكل صخور من الجبسم

محاطة بطبقة من دقائق الأنهايدرايت المتفتت بشكل رمل، ويلاحظ أيضًا وجود طبقة مصاحبة من هذا الرمل بثخن (30 ـ 40) سنتمترًا.

وتختفي الكتل الصخرية تمامًا من كيلومتر (650 + 2) حتى الكيلومتر (800 + 2) لتحل محلها طبقة رملية رسوبية من مادة الشرفات، لتظهر مرة أخرى لتواصل صعودًا نحو الأعلى باتجاه نهاية السد اليمنى مع بقية الطبقات الصخرية الأخرى.

وقد لوحظ وجودها في الجانب الأيمن في أساسات مقدم منشأ حوض المنافذ السفلى (Bottom Outlet Stilling Basin Apron) بشكل كتل كبيرة من صخور الجبسم التي تتجاوز أبعادها عدة أمتار محاطة بالطفل المتفتت.

ومن التحري الجيولوجي لمنشأ مذب المسيل (Flip Bucket) فقد وجدت طبقة من الجبسم/ أنهايدرايت فوق طبقة خفيفة من الطفل القيري (Marl Bituminous).

- **(GB1)**: وهي الطبقة الثالثة من طبقات البريشيا الجبسية؛ وقد تميزت في الجانب الأيسر بوقوعها تقع تحت مستوى الكارست.

وعند تتبع مسار هذه الطبقة نحو الجهة اليمنى تحت محور السد؛ فإنّها تستمر بشكل تصاعدي نحو الأعلى كما في شكل (12) أسوة ببقية طبقات الأسس، وتقترب من الرسوبيات الفيضية في مقطع النهر في المقاطع 75، 88، 93، 100 (ترقيم المقاطع هذا يتبع الترقيم الذي أعطي إلى مقاطع ستارة التحشية على محور السد، وذلك لتسهيل تسجيل معلومات التحشية والرجوع إليها)؛ حيث يلاحظ أن هذه الطبقة قد تعرضت للذوبان والتكهف الكامل في هذه المقاطع، كما تظهر آثار العديد من الانهيارات والخسفات الأرضية فيها. ومن الترسيم الجيولوجي لحفريات رواق التحشية (Grouting Gallery) الواقع في قعر الخندق القاطع للسد (Cutoff Trench) فإن كافة طبقات الصخور الكلسية أو المارل الواقعة فوق طبقة (GB1) هي بحالة مشوهة ومتخلخلة ومتشققة. غير أن طبقة (GB1) مع كل ذلك تستمر في الجانب الأيمن، ولوحظ وجودها على عمق بضعة أمتار من أسس المحطة الكهرومائية، ووجدت فيها كهوف فارغة تمامًا مما تطلب إجراء تحشية تقوية (Consolidation grouting) تحت أسس المحطة المذكورة. وتتكرر نفس الحالة تحت أساسات حوض تسكين المنافذ السفلى (Bottom outlet Plunge Pool) إلا أنه لم يتم إجراء مثل هذه التحشية في هذا الجزء.

- **(GB0)**: وهي الطبقة الرابعة والأخيرة من صخور البريشيا الجبسية في تسلسل

المارل الأسفل. ولو تتبعنا هذه الطبقة من مدخل رواق التحشية على الجانب الأيسر باتجاه الجهة اليمنى فإنها تقع أول الأمر تحت خط الكارست وتكون بسمك يربو على (15) مترًا، وتتكون في الواقع من أربع طبقات من الأنهايدرايت بسمك (2) متر لكل منها، وتتخلل هذه الطبقات طبقات أخرى من الطفل الطباشيري وحجر الكلس الطفلي. وتستمر نحو مقطع النهر وتحديدًا عند المحطة (800 + 2)، وعندئذٍ تبدأ علامات التكهف والذوبان بالظهور عليها بصورة جلية وبدرجة كبيرة، وخاصة عند نهاية السد اليمنى فوق منسوب (315) متر فوق سطح البحر.

إن طبقة (GB0) بصورة عامة تحوي نسبة عالية من صخور الجبسم المتكهف، بالإضافة إلى أنها موجودة بشكل ملفت للنظر في مقطع النهر، كما أنها اكتشفت أيضًا في حفريات الجزء الغربي من منشأ مداخل أنفاق الطاقة وتبدو هناك متفتتة لدرجة كبيرة بعد أن ذاب معظم الجبسم منها.

كما يوجد **طبقات من الجبسم تتخلل بين طبقات البريشيا الجبسية في سلسلة المارل الأسفل**. وتم اكتشاف سبعة طبقات من الجبسم/ أنهايدرايت تحت خط الكارست بين طبقتَيْ (GB1) و(GB2) بثخن كلي يبلغ 7,5 مترًا. كما أن هناك طبقتين من الجبسم بين طبقتي (GB1) و(GB0) بثخن إجمالي يبلغ (3,5) متر. أما فوق مستوى خط الكارست فإن كافة هذه الطبقات تظهر عليها آثار الذوبان والتكهف وبدرجات متفاوتة حسب عمقها وموقعها. وفي أساس المحطة الكهرومائية قد تحولت إلى طفل متفتت بعد أن ذاب الجبسم كله وحل الطفل المتفتت محله عدا الأسس في الزاوية الجنوبية حيث يظهر الأنهايدرايت في جزءٍ منها، أما الجزء الآخر فيتكون من البريشيا. وتظهر مرة أخرى في أساس المنفذ السفلي (Bottom Outlgets) بين طبقتي (GB1) و(GB2) حيث تعاني من التكهف والذوبان ووجود قنوات ذائبة مملوءة بالبريشيا.

* رابعًا: بعض المظاهر التكتونية في موقع سد الموصل:

يمكننا تمييز عدد من المظاهر التكتونية الموضعية في موقع سد الموصل يمكن إيجازها بما يلي:

1 ـ حدبة وادي المالح (Dair Maleh):

تمثل الجزء الشرقي من حدبة بطمة الشرقية الواقعة في الجانب الأيمن ومن أهم المظاهر التكتونية في موقع سد الموصل، وهي حدبة متوسطة الارتفاع غير متماثلة

الانحدار على جانبيها، وتتجه الحدبة المذكورة باتجاه شرق ـ غرب، وتنحدر على نحو حاد باتجاه حوض النهر حيث تشكل جزءًا من أساسات السد في الكتف الأيمن وتحت السد الرئيسي. ولم يلاحظ من خلال الترسيم الجيولوجي السطحي وجود فالق رئيسي، وإنما بعض الفوالق البسيطة ذات إزاحات قليلة لا تتجاوز بضعة أمتار وخاصة في صخور الجريبي.

يتكون لب هذه الحدبة من صخور الجريبي الكلسية مع طبقات أقدم من تكوين جدّالة (Jaddala) إضافة إلى تكوينات من سلسلة الطفل الأسفل من صخور (GB0) والسلسلة الطباشيرية (Chalky Limestone Series).

ومما تجدر الإشارة إليه أن الخزان العلوي لمشروع الخزن بالضخ (Pump Storage Scheme) يقع على قمة هذه الحدبة بينما تم حفر وتنفيذ محطة التوليد لهذا للمشروع في لب الحدبة ضمن طبقة صخور الجريبي.

2 ـ حدبة جبل طيره (Taira):

وهي أهم تشكيل تكتوني في الجانب الأيسر، ويكون اتجاهه نحو جنوب الشرق، ويبلغ أعلى ارتفاع له في موقع المخيم السكني الدائم للعاملين في السد، وتنكشف صخور (F-bed) الكلسية على طول سطح الحدبة وفيما حولها.

أما المنحدر الشمالي منه فيكون مغطى بصخور سلسلة الطفل الأعلى (Upper Marl Series)، ولم يتم اكتشاف أي فالق رئيسي ضمن تكوينات هذه الطية، إلا أن هناك بعض الفوالق الصغيرة ذات الإزاحات (Throw) البسيطة.

3 ـ الطيات (Folds):

إن من أكبر الطيات في موقع سد الموصل هي الطية الظاهرة في الجانب الأيمن على مسافة (900) مترًا من مقدم السد، وتبرز نحو الأعلى بشكل شبه عمودي، وقد تم تفسيرها على كونها صدع (Fault). أما طولها فهو حالي (2) كيلومتر، وتمتد من ضفة النهر باتجاهٍ من جنوبي شرقي إلى شمالي غربي، ويتراوح عرضها بين (40) إلى (100) متر، ولوحظ أن في داخلها إزاحات في التراكيب الجيولوجية بعضها عن البعض الآخر بمسافات تتراوح من (50) إلى (70) مترًا. ولقد أثرت هذه الطية أو الصدع كثيرًا في إحدى الطبقات الجبسية القريبة من النهر والتي يعتقد أنها من البريشيا الجبسية (GB2).

4 ـ **العروق الطينية (Clay Seams):**

لقد تم الكشف عن العديد من عروق الطين في أساسات سد الموصل سواء عند حفريات المنشآت ـ مثل: منشأ رواق التحشية (Grouting Gallery)، والمحطة الكهرومائية، ومنشأ مدخل أنفاق الطاقة ـ، أو من خلال ملاحظات اللباب المستخرج من ثقوب التحريات الجيولوجية على طول محور السد.

وتمتاز هذه العروق بما يلي:

ـ تستمر هذه العروق بشكل موازي لباقي الطبقات الصخرية، مما يشير إلى أصلها الرسوبي.

ـ تمتد على مسافات طويلة قد تزيد على بضعة مئات من الأمتار أو الكيلومترات.

ـ تحوي هذه العروق في الجانب الأيمن وفي مقطع النهر على خدوش طولية (Slickenside)[10] ويؤشر ذلك إلى آثار إزاحات تفاضلية.

ـ يتراوح سمك هذه الطبقات من بضعة سنتمترات إلى (10) أو (20) سنتمتر.

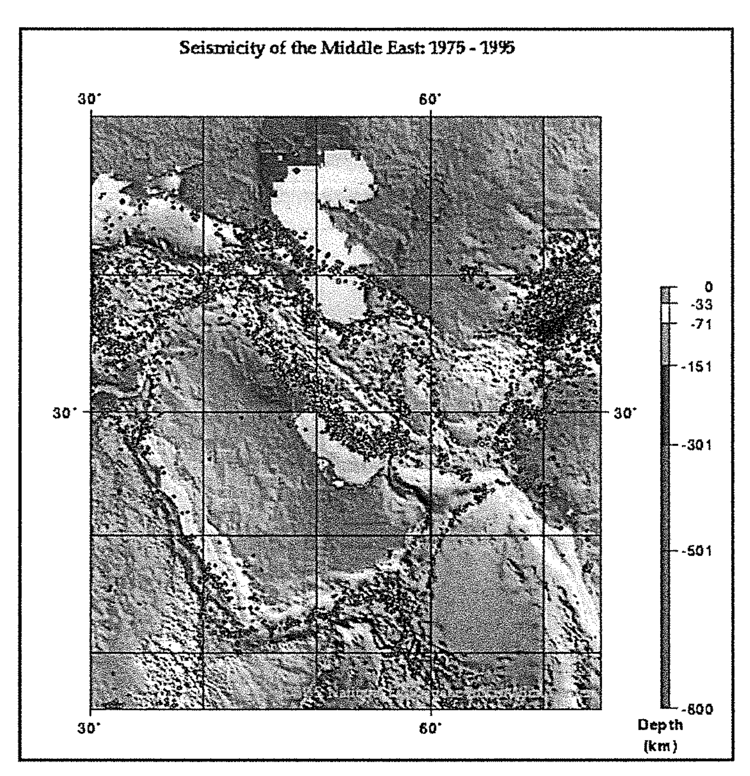
ـ لقد نتجت كافة هذه العروق عن دورات متتابعة من الترسيب.

ـ تم الحفر خلال أعمال تنفيذ السد إلى أعماق كبيرة لغرض إزالة عدد من هذه العروق في الجانب الأيمن مؤخر محور السد، كما تم تعديل تصاميم السد الترابي بصورة جذرية حيث أضيفت المسطبات (Berms) الأمامية والخلفية في مقطع السد على منسوب (290) متر فوق سطح البحر لزيادة معاملات أمان استقرارية السد؛ حيث إن هذه العروق تشكل سطوح انزلاق سهلة، كما أدت إلى تغير طريقة تحليل الاستقرارية من طريقة الانزلاق الدائري (Slip Circle Method) إلى طريقة الانزلاق الكتلوي (Wedge Analysis).

5 ـ النشاط الزلزالي والخطورة الزلزالية في سد الموصل

يرتبط النشاط الزلزالي في منطقة سد الموصل بالتراكيب والحركات التكتونية التي سبق التنويه عنها في الفقرة (2)، ومن الواضح فإن الحركة التكتونية نشطة جدًّا في الحافة الشمالية من الصفيحة العربية (Arabian Plate)، وهي منطقة جبال زاكروس في شمال العراق والمنطقة المحاذية لجبال طوروس القريبة أيضًا. وقد سجلت مراكز الرصد الزلزالي العالمية العديد من هذه الهزات المبينة في الشكل (16) الذي يبين مواقع الهزات وأعماقها البؤرية للفترة (1975 ـ 1995)[11].

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/



شكل 16: مواقع وأعماق الهزات الأرضية للفترة (1975 ـ 1995) في منطقة الشرق الأوسط

ولأجل احتساب النشاط الزلزالي في المنطقة ومن ثم احتساب الخطورة الزلزالية (Seismic Risk) التي قد يتعرض لها السد لا بد من إعداد قائمة بكافة الهزات المهمة التي وقعت وأمكن تخمين قوتها، وذلك في المنطقة المحيطة بالسد وبنصف قطرٍ بحدود (250) كيلومتر لتشمل الهزات الواقعة في منطقة جبال زاكروس، والتي ظهرت آثارها بالتأكيد في موقع السد. وقد احتوت القائمة ـ التي أعدت من قبل الاستشاريين السويسريين لأغراض إعداد تصاميم السد ـ على قائمة بتلك الهزات وضمنوها في تقريرهم عن الخطورة الزلزالية[11]، وكانت مأخوذة من رصودات أربعة مراكز رصد عالمية(12) متضمنة قوة الهزات ووقت حدوثها وبعدها عن موقع السد وعمقها البؤري، وأضيف إلى هذا السجل سجلًا آخر يمثل الزلزالية التاريخية (Historical Seismicity) أعد من قبل البروفسور أمبريزي (Ambraseys)(13)[12].

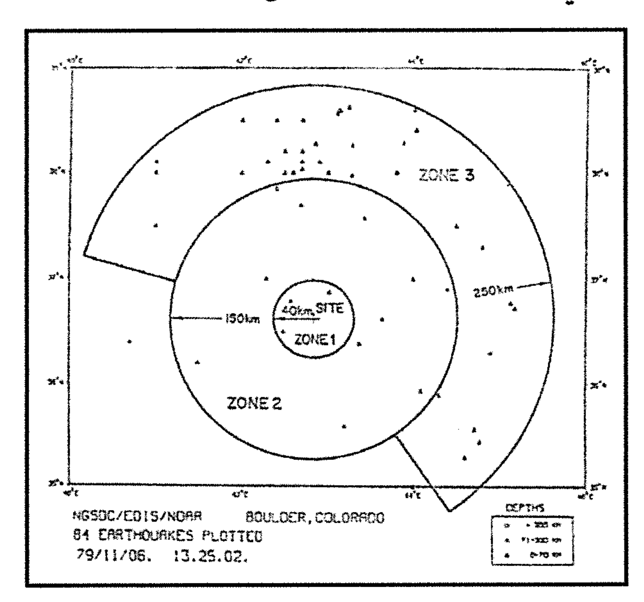
وتكوَّن السجل التاريخي هذا من (23) هزة وقعت بين سنة (1280) قبل الميلاد و(1884) بعد الميلاد حيث استقى البروفسور أمبريزي معلوماته من الشواهد والكتابات التاريخية واستنتاج قوة الهزات ومواقع حدوثها حسب ما ورد من وصف عن آثارها التدميرية.

اعتبر هذا الكم من المعلومات التي توفرت لغاية (1982) وهي سنة إعداد التقرير جيدة لأغراض التصاميم، وتم استبعاد كافة الهزات التي تقل قوتها عن (4,5) على مقياس ريختر كونها لا تعتبر مؤثرة على سلامة السد.

أمّا لغرض إجراء التحليل؛ فقد تم تقسيم هذه الهزات حسب مصادرها وتسقيطها على ثلاثة أحزمة أو مصادر (Zones) كما يلي:

- المصدر الأول (Zone 1): ويتمثل بدائرة نصف قطرها (40) كيلومتر ومركزها في موقع السد.
- المصدر الثاني (Zone 2): ويتمثل بالمنطقة المحصورة بين الدائرة الأولى ودائرة ثانية بنصف قطر (150) كيلومتر وبنفس المركز، وتبلغ المساحة السطحية لهذا الحزام (7000) كيلومتر مربع.
- والمصدر الثالث (Zone 3): يتمثل بدائرة نصف قطرها (250) كيلومتر حول الموقع كما في شكل (17).

والقصد من هذا التقسيم هو إيجاد المعادلات الخاصة التي تربط قوة الهزات مع تكرارها في كل حزام (Magnitude - Recurrence Relationship) تمهيدًا لاستعمالها لحساب الخطورة الزلزالية في الموقع بعد إيجاد معادلات التوهين (Attenuation Relationships) لكل حزام على حدة (وقد تم دمج المصدر الأول مع المصدر الثاني كون الهزات في المصدر الأول لا تشكل وزنًا كبيرًا).



شكل 17: مواقع البؤر الزلزالية حسب مصادرها الزلزالية حول سد الموصل

إن تحليل الفعالية الزلزالية لأي منطقة يقتضي:

أولًا: إيجاد العلاقة بين تكرار حدوث الهزات (N) وقوة الهزات (M) على مقياس ريختر، وهي عادة ما تكون علاقات لوغارتمية ويمكن جعلها بشكل خطي (Linear) إذا ما رسمت على ورق بياني لوغارتمي وتأخذ الصيغة العامة التالية:

$$Log\ (N)_s = a + b\ M_s$$

حيث إن:

N = عدد الهزات التي تساوي (M) بالمقدار أو تتجاوز هذا المقدار.

M_s = قوة الهزة على مقياس ريختر (الموجة السطحية).

b, a ثوابت المعادلة.

وقد تم إيجاد علاقتين من علاقات التكرار هذه:

الأولى لمنطقة (Zone1 + Zone2) وهي:

$$Log\ (N) = 6.10 - 1.35M_s$$

أما الثانية فهي لمنطقة (Zone3):

$$Log\ (N) = 4.76 - 0.66M_s$$

وعند احتساب الخطورة الزلزالية لا بد من إيجاد ما يسمى بمعادلات التوهين أو التخميد (Attenuation Relationships). والمقصود بالتواهين هو: أن الطاقة الزلزالية المنبعثة من أي هزة تضعف وتتوهن كلما ابتعدنا عن مركز الهزة بسبب تبعثر وانتشار طاقتها بسبب مقاومة الطبقات الأرضية لها مما يسبب انخفاض قيمة التعجيل الأرضي الناجم عنها والمؤشر على المنشآت كلما ابتعدنا عن بؤرة الحدث وتعطينا معادلات التوهين قيمة التعجيل الأرضي في النقاط على المسافات المختلفة مع احتمالات تجاوز هذه القيم (Probability of Exceedence) خلال العمر الافتراضي للمنشأ تحت النظر، وهو المطلوب معرفته لأغراض التصاميم.

هناك العديد من علاقات التوهين التي توصَّل إليها الباحثون في مناطق مختلفة من العالم تربط بين التعجيل الناتج عن الهزة في موقع ما مع قوة تلك الهزة وبعد الموقع من بؤرة الهزة[14]. وقد استخدمت خمسة معادلات من معادلات التوهين لغرض حساب الخطورة الزلزالية في موقع سد الموصل من أجل تدقيق حساسية النتائج تمهيدًا لاحتساب هذه الخطورة باستعمال معادلة كورنيل (Cornell) للغرض المذكور[13]، وبهذه الطريقة يمكن الربط بين التعجيل الأرضي الأقصى المتوقع في الموقع واحتمالية تجاوز هذا التعجيل مع فترة الرجوع (Return Period) خلال

العمر الافتراضي[15]، وقد تم رسم النتائج على شكل منحنيات للمصادر الزلزالية بافتراض العمق البؤري للهزات (15) كيلومتر و(30) كيلومتر تحت سطح الأرض، مع أخذ معادلات التوهين المناسبة.

من مراجعة النتائج، نرى أن الهزات على عمق بؤري (15) كيلومتر هي أكثر احتمالية، ولكن تعجيلها المؤثر هو أقل من تلك التي يمكن أن تقع على عمق (30) كيلومتر.

أما المحصلة النهائية من هذه الحسابات باعتبار عمر السد الإنشائي (100) فهي أن:

- تعجيل الهزة التصميمية (Maximum Ground Acceleration-MGA)؛ أي: التعجيل الذي يجب أن يتحمله السد بدون حصول أي أضرار يبلغ (0.15g) إذا ما كانت احتمالية التجاوز بحدود (20%)، ويعني ذلك مرة واحدة كل (280) سنة، أو مرة كل (450) سنة إذا ما كانت احتمالية التجاوز (30%).

- تعجيل الهزة الأرضية القصوى الممكنة (Maximum Credible Earhquake-MCE) باحتمالية مرة كل (10000) سنة، وهو التعجيل الذي يتحمله السد مع وقوع أضرار دون أن ينهار، وقد بلغ بموجب الحسابات (0.25g).

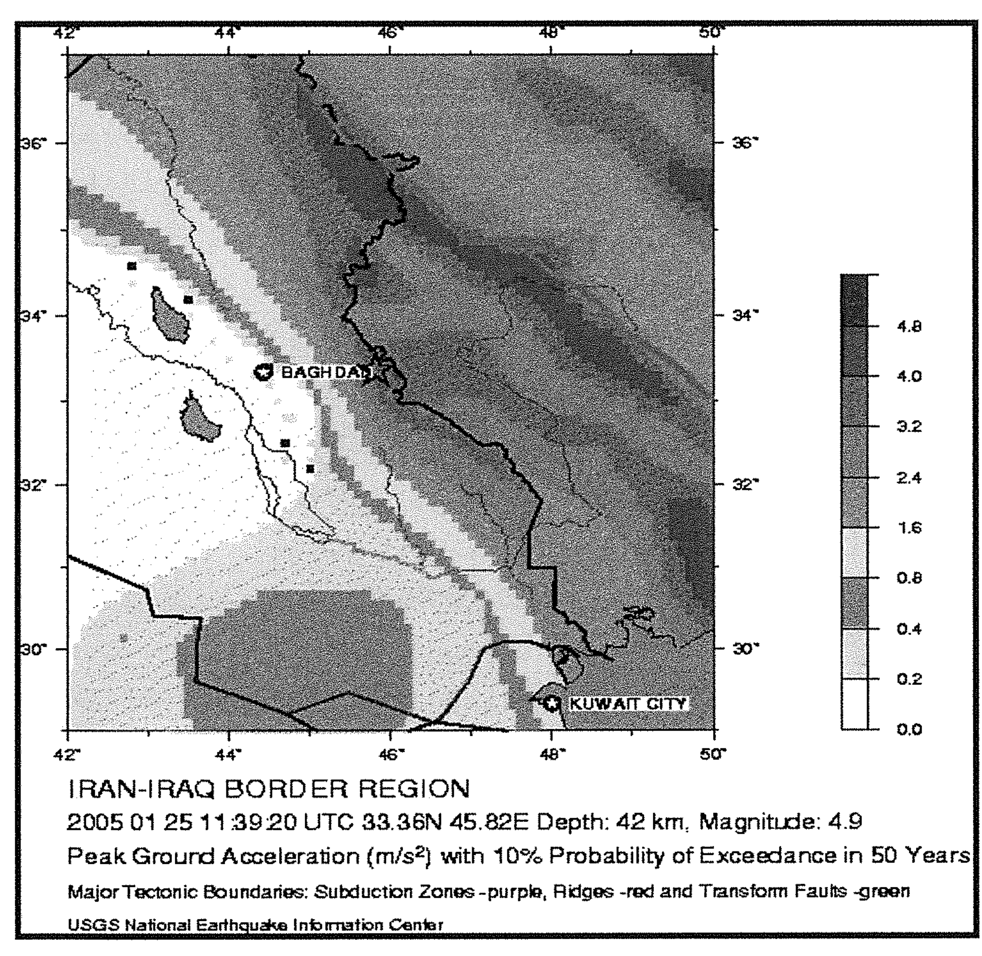
ومن الجدير بالذكر أن تقرير الاستشاريين السويسرين المعد سنة (1982)[11] قد تمت مراجعته من قبل شركتَيْ واشنطن كروب أنترناشنل وبلاك أند ڤيتش سنة (2005) في تقريرهم عن تقييم حالة سد الموصل[14]، وقد خلص تقرير المراجعة إلى أن تقرير الاستشاريين السويسريين كان جامعًا ودقيقًا، إلا أنه لم يتطرق كثيرًا إلى تأثير الظواهر التكتونية، ولم يتم ترسيم الفوالق المحلية القريبة من الموقع.

إن تحديث السجل الزلزالي منذ سنة (1982) لغاية (2005) قد يضيف بلا شك أمورًا جديدة، وهذا ما لم تفعله الشركتان المراجعتان.

وعلى أية حال فإن خارطة الفعالية الزلزالية المعدة من قبل المركز الوطني لمعلومات الزلازل الأمريكي (National Earthquake Information Center) التابع لوكالة المسح الجيولوجي الأمريكية (USGS) لسنة (2005) والمستخلصة من نتائج البرنامج العالمي لتقييم المخاطر الزلزالية (Seismic Hazard Assessment Program-GSHAP) المبينة في الشكل (18) تعطي تعجيل في موقع السد (إذا ما كان العمر التصميمي للسد (50) سنة، وباحتمالية تتجاوز (10%) بفترة رجوع (457) سنة بحدود (0.16g)، أما التعجيل الأقصى المحتمل فهو بحدود (0.24g).

وتجدر الإشارة بأن المتبع حاليًا في التصاميم هو اعتماد احتمالية وقوع هزة ذات تكرر مرة كل (2500) سنة وليس مرة كل (10000) سنة.

يخلص تقرير واشنطون كروب انترناشونال وبلاك أند ڤيتش إلى أن هناك حاجة للقيام بعمل إضافي للتعرف على كافة مصادر النشاط الزلزالي القريب لتشخيص أي مصدر محتمل للهزات؛ وعليه يتطلب القيام بدراسة جديدة لاحتماليات المخاطر الزلزالية في المنطقة لفترة الرجوع المحددة.



شكل 18: خارطة الفعالية الزلزالية المُعِدة من قِبل المركز الوطني لمعلومات الزلازل الأمريكي (National Earthquake Information Center) التابع لوكالة المسح الجيولوجي الأمريكية (USGS) لسنة 2005

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press /سحب ثالث /سد الموصل

الهوامش

(1) **Evaporite,** Any of a variety of individual minerals found in the sedimentary deposit of soluble salts that result from the **evaporation** of water. Typically, evaporite deposits occur in closed marine basins where evaporation exceeds inflow. The deposits often show a repeated sequence of minerals, indicating cyclic conditions with a mineralogy determined by solubility. The most important minerals and the sequence in which they form include **calcite, gypsum, anhydrite, halite,** polyhalite, and lastly potassium and magnesium salts such as **sylvite**, carnallite, kainite.

(2) **Stratigraphy:** The Branch of geology concerned with the order of relative positions of strata and their relationship to the geological time scale.

(3) **Bauxite:** An amorphous clayey rock that is the chief commercial ore of aluminum. It consists largely of hydrated alumina with variable proportions of iron oxides. In Mosul Dam the brown clayey layers in the foundation were mistaken as Bauxite.

(4) **Marl:** It is an unconsolidated sedimentary rock or soil consisting of caly and lime.

(5) **Breccias:** Rock consisting of angular fragments cemented together.

(6) **Gypsum and Anhydrites:** Gypsum (CaSO4.2H2O) and anhydrite (CaSO4) are two related minerals that formed during periodic episodes of ancient sea water evaporation in restricted environment. Anhydrite converts to gypsum when exposed to water, which creates a volume increase that destroys any planar features in the beds. The reverse is also possible-anhydrite can be created when gypsum is dehydrated.

(7) **Karsts Line:** This is a hypothetical line which was proposed within Mosul Dam foundation as the line separating the highly permeable rock formations above it from the less permeable rock formations below it. It was fixed by the designer after performing exploratory boreholes from the ground surface along the axis of the dam and carrying out field permeability tests. It was used to determine the depth of the deep grout curtain under the dam; more is said about the karts line later in this book.

(8) **Dolomite:** a translucent mineral consisting of a carbonate of calcium and magnesium.

(9) **The Lugeon test:** sometimes called also Packer test, is an in-situ testing method widely used to estimate the average hydraulic conductivity of rock mass. It is in situ test of formation permeability performed by measuring volume of water taken in a section of test hole when the interval is pressurized at given pressure (10 bars-150 psi). It is used primarily in variably permeable formations.

The test is named after Maurice Lugeon (1933), a Swiss geologist who first formulated the test. Basically, the Lugeon test is a constant head permeability type test carried out in an isolated part of a borehole. The results provide information about hydraulic conductivity of the rock mass including the rock matrix and the discontinuities. The following table gives the Lugeon values related to conductivity classification and rock discontinuity condition

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press /سحب ثالث/ سد الموصل/

Lugeon Value	Conductivity classification	Rock discontinuity condition
<1	Very low	Very tight
1-5	Low	Tight
5-15	Moderate	Few partly open
15-50	Medium	Some open
50-100	High	Many open
>100	Very high	Open closely spaced or voids

(10) **Slickenside:** A geological term which describes a rock surface with a polished appearance and fine parallel scratches caused by abrasion during fault displacement.

(11) **National Earthquake information center** (NEIC), this center is located in Denver-Colorado and it belongs to the US Geological Survey.

(12) **This includes the Following;**
- National Federal Institute of Technology, Zurich, Switzerland.
- National Geophysical and Solar-terrestrial Data Center, (NGSDC)/EDIS/NOAA, Boulder, Colorado, USA.
- International Seismological Center, Newbury.UK.
- Institute of Geological Sciences, Edinburgh, Scotland.

(13) **N. N. Ambraseys:** Professor at the Imperial College, London.

(14) There are many attenuation equations which have been derived for many locations in the world. In Mosul Dam Seismic study many of these equations were investigated.

The following relationships were used:

1) $$y = \frac{2.88 \cdot e^{1.45M}}{R^{1.1}}$$ Ambraseys, 1975 (2)

2) $$y = \frac{5600 \cdot e^{0.8M}}{(R+40)^2}$$ Esteva, 1974 (3)

3) $$y = \frac{472.3 \cdot e^{0.64M}}{(R+25)^{1.301}}$$ Mc Guire, 1974 (4)

4) $$y = \frac{b_1 \cdot e^{b_2 M}}{(R+25)^{b_3}}$$ Donovan, 1978 (5)

where $b_1 = 2'154'000 \; R^{-2.1}$

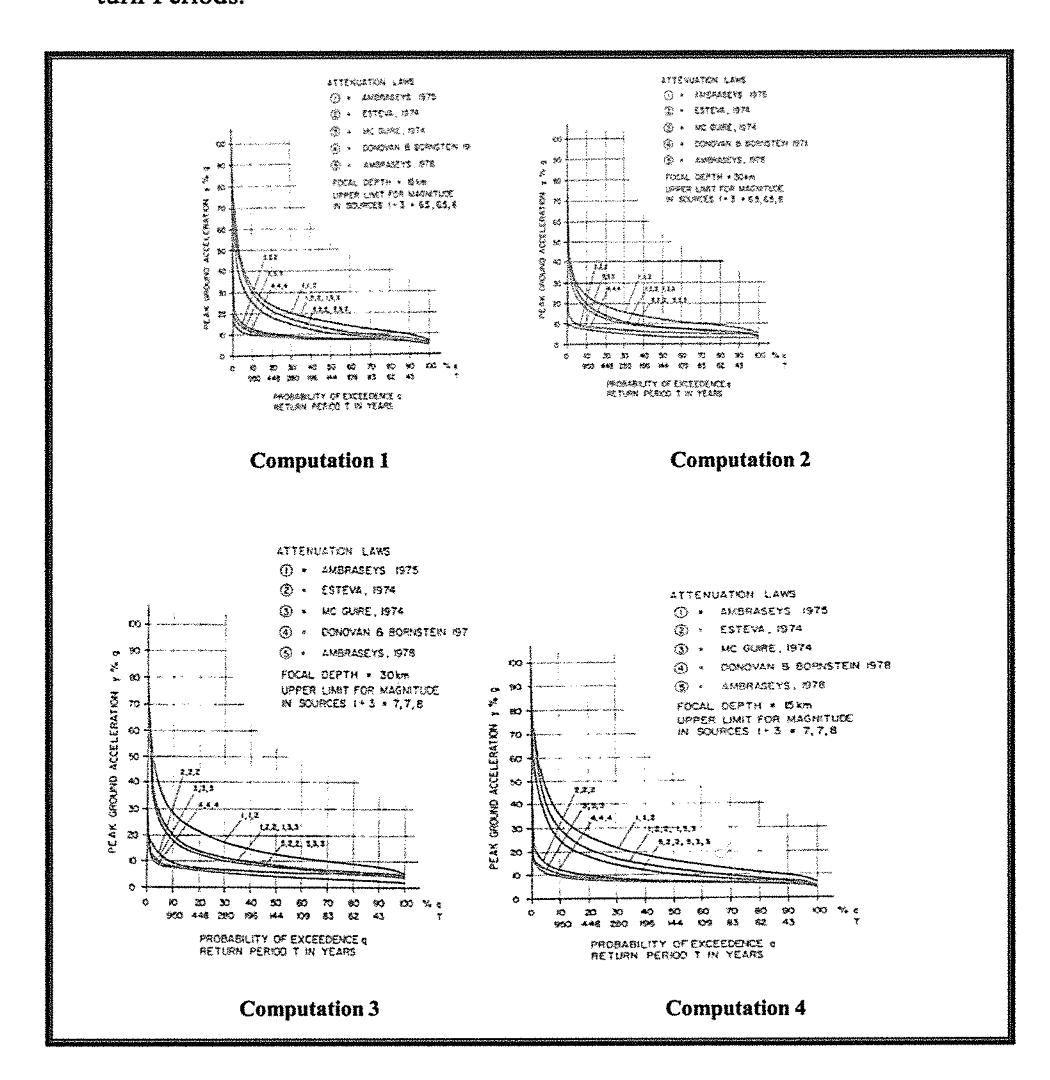
$b_2 = 0.046 + 0.445 \log R$

$b_3 = 2.515 - 0.486 \log R$

5) $$y = \frac{1.33 \cdot e^{1.455M}}{R^{0.92}}$$ Ambraseys, 1978 (6)

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/

(15) Peak Ground Acceleration in Relation to Probabilities of Occurrence and Return Periods.



Computation 1 | Computation 2

Computation 3 | Computation 4

References / المصادر

[1] Swiss Consultants Consortium for Consulting Engineering. «Mosul Dam, Security measures II. Addendum 3, Flood Wave Study, Vol.1», Feb. 1984.

[2] Iraqi Ministry of Water Resources. Schematic diagram of main control structures in Iraq. General Directorate of water resources management, Hydrological studies center, Baghdad, 2005.

[3] USACE, Engineers Research and Development Center. «Geological setting of Mosul Dam». Final Report. September 2007.

[4] Sissakian, V. Al Ansari, N. Adamo, N. Issa, I. Knutsson, S. «Mystery of Mosul Dam the most Dangerous Dam in the World: General Geology». Journal of earth Science and Geotechnical engineering, vol. 5, no3. 2015.

[5] Fouad, S.F., Western Zagros Fold-Thrust Belt, Part I: The Low Folded Zone. Iraqi Bulletin of Geology and Mining, Special Issue No.5, 39-62, 2012b.

[6] Jassim, S.Z., S. A. Karim, M.A. Al Mubarek, and J. Munir. 1984. Final report of the refional geological survey of Iraq. In Geological Survey of Iraq; vol 3: Stratigraphy.

[7] IVO, Imatran Voima sakeyhtio, Consulting Engineers, Finland, «Geologic Map of Mosul Dam», Ministry of Agrarian Reform, Iraq, 1969.

[8] Saddam (Mosul) Dam Project Main Shceme - Final Report & As Built Drawings - Volume 1 Swiss Consultants Consortium. December 1989.

[9] Al Asnari, N. Adamo, Issa, I. Sasikan, V. Knutsson, S. «Mystery of Mosul Dam the most Dangerous Dam in the World: «Karstification and Sinkholes». Journal of earth Science and Geotechnical engineering, Vol. 5, no3. 2015.

[10] Warren, J.k. 2006. Evaporites: Sedimentsm, resources and hydrocarbons. New York: Springer-Varlag.

[11] Swiss Consultants Consortium, «Seismic Risk Analysis - Mousut Dam», Ministry of Irrigation, State Organization of Dams, May 1982 (Rev).

[12] Ambraseys, N.N. «Report on the Seismicity of Mosul dam» Feb. 1981.

[13] Cornel, C.A. «Engineering Seismic Risk Analysis». Bulletin of Seismoogical Society of America, Vol. 58. Oct. 1968. Pp 1483 - 1606.

[14] Washington Group International/Black and Veatch. «Task Order 8, Mosul Dam Study». Final Report. August 2005.

الفصل الثالث

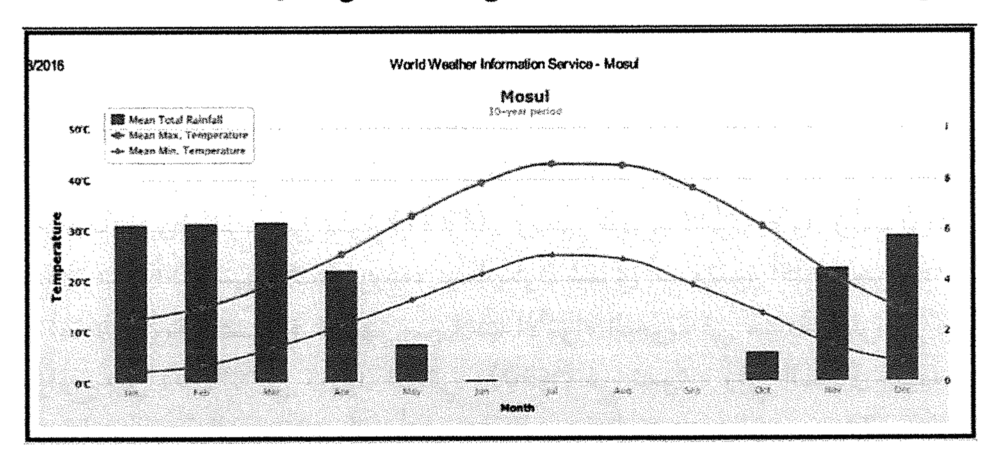
العوامل الهيدرولوجية والموارد المائية

1 ـ المناخ

يتأثر حوض نهر دجلة بصورة عامة بمناخ منطقة شرق البحر الأبيض المتوسط، ويكون الجزء المتموج من جنوب تركيا وشمال العراق قاري المناخ؛ أي: حار صيفًا وبارد شتاءً مع تساقط الأمطار والثلوج في فصل الشتاء. ويتساقط المطر في مدينة الموصل التي تمثل منطقة السد من الناحية المناخية في الفترة من تشرين الثاني لغاية نيسان ويصاحب هطول الأمطار تساقط الثلوج في المناطق الجبلية.

يتراوح الساقط المطري على حوض نهر دجلة الأعلى بمعدل سنوي يبلغ (1500) ملمتر سنويًا في المنطقة الجبلية، بينما لا يتجاوز (450) ملمترًا سنويًا في موقع السد وبمعدل (800) ملمترًا سنويًا على عموم المنطقة.

أما في مدينة الموصل نفسها فإن سجل الأرصاد الجوية لدى منظمة المناخ الدولية التابعة للأمم المتحدة[1] يشير إلى أن المعدل السنوي للأمطار الساقطة في مدينة الموصل هو بحدود (364) ملمترًا. أما المعدلات الشهرية فهي كما مبينة في الشكل (1) والجدول (1) أيضًا[1]. ويمثل هذا السجل الفترة (1976 ـ 2008).



شكل 1: المعدلات الشهرية للأمطار ودرجات الحرارة اليومية العظمى والصغرى في مدينة الموصل للفترة (1976ـ2008)[1]

وتتراوح المعدلات الشهرية لدرجات الحرارة العظمى اليومية بين (42.9°C) في شهر تموز و(12.4°C) في كانون الثاني، بينما تتراوح المعدلات الشهرية لدرجات الحرارة الصغرى بين (24.2°C) في شهر آب و(2.2°C) في شهر كانون الأول، بينما تتراوح القيم الشهرية لدرجات الحرارة الصغرى اليومية بين (4.2°C) في شهر آب و(2.2°C) في كانون الأول، وكما مبين في الشكل (1) والجدول (1) أيضًا.

جدول 1: المعدلات الشهرية للأمطار ودرجات الحرارة اليومية العظمى والصغرى في مدينة الموصل للفترة (1976 ـ 2008)[1]

Month	Mean Daily Minimum Temperature (°C)	Mean Daily Maximum Temperature (°C)	Mean Total Rainfall (mm)
Jan	2.2	12.4	62.1
Feb	3.4	14.8	62.7
Mar	6.8	19.3	63.2
Apr	11.2	25.2	44.1
May	16.2	32.7	15.2
Jun	21.3	39.2	1.1
Jul	25	42.9	0.2
Aug	24.2	42.6	0
Sep	19.1	38.2	0.3
Oct	13.5	30.6	11.8
Nov	7.2	21.1	45
Dec	3.8	14.1	57.9

وكانت أقل درجة حرارة يومية رصدت في مدينة الموصل تساوي (-11°C) في اليوم الثالث من كانون الثاني سنة (1925)، بينما بلغت أعلى درجة حرارة (51.1°C) سجلت يوم الحادي والعشرين من تموز (1937). ويعتبر شهري كانون الأول وكانون الثاني بصورة عامة أكثر شهور السنة برودة، بينما يكون شهري آب وتموز أكثرها حرارة.

أما الرطوبة النسبية؛ فتظهر سجلات الأنواء الجوية في مدينة الموصل بأنها تتراوح بين (80%) في كانون الثاني و(30%) في تموز. وفي السياق نفسه فإن رصودات سرعة الريح تشير إلى أن معدل السرعة السنوي يتراوح بين (3 ـ 6) مترًا في الثانية. أما اتجاهاتها فتكون في الغالب من الغرب إلى الشرق في أشهر الصيف

بواقع سرعة (2 ـ 3) مترًا في الثانية، وفي شهري كانون الثاني وشباط تتجاوز سرعة الريح (5) متر في الثانية ويغلب اتجاه الهبوب من الشرق إلى الغرب وتتسم عادة بالبرودة. إضافة إلى ما سبق فإن قياسات معدلات التبخر في الموصل تبين بأن أعلى معدل شهري للتبخر يصل إلى (400) ملمترًا في شهر تموز بينما يبلغ (40) ملمترًا في شهر كانون الثاني. من كافة هذه المعطيات المناخية فقد أمكن احتساب مقدار التبخر السنوي من سطح بحيرة السد وقد وصل إلى (2,1) مترًا سنويًا.

2 ـ حوض التغذية (Catchment Area)

تقع منابع نهر دجلة في منطقة بحيرة وان في جنوب شرق تركيا، حيث يبلغ منسوب سطح البحيرة (1200) مترًا فوق سطح البحر، بينما ترتفع قمم الجبال المحيطة بالبحيرة إلى مناسيب تقرب من (3000) مترًا فوق سطح البحر، ويجري النهر في منطقة جبلية حيث يلتقي بروافده بوتان (Butan) وكارزان (Garzan) وبطمان (Batman)، ويتوسع مجراه بعد التقائه بالرافد بطمان لكي يعود ويضيق مرة أخرى بعد مغادرته منطقة ديار بكر نظرًا لاختراقه منطقة جبلية حيث يتخلل المجرى في هذه المنطقة المنحدرات والمساقط المائية الكثيرة.

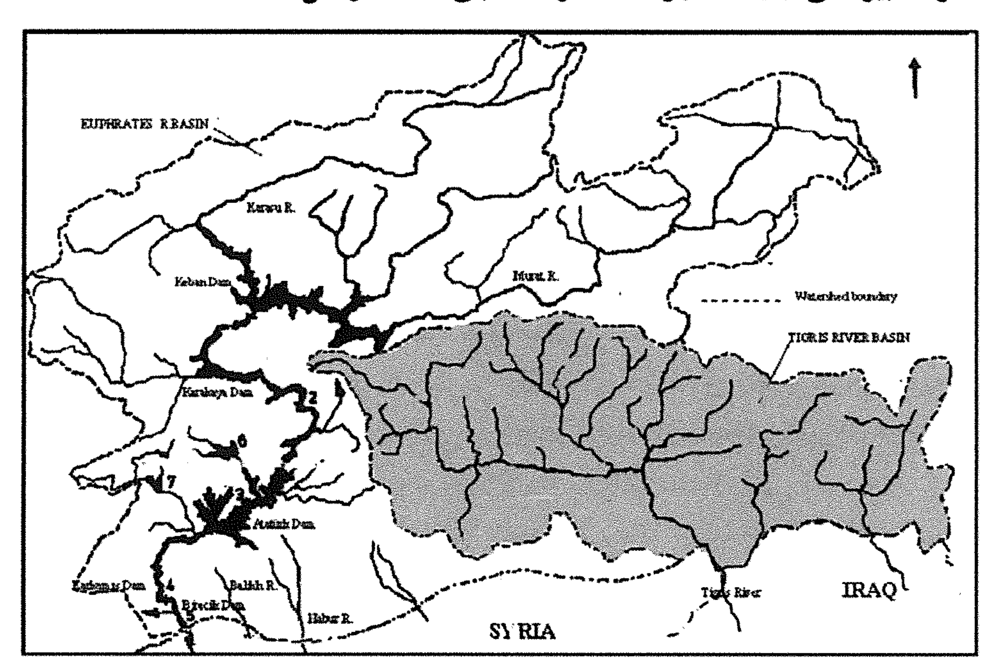
يبلغ طول نهر دجلة الكلي في تركيا لغاية الحدود العراقية (485) كيلومترًا؛ منها (45) كيلومترًا يجري فيها محاذيًا الحدود مع سوريا من مدينة المالكية السورية لغاية دخوله الأراضي العراقية عند منطقة فيشخابور التي تبعد مسافة (80) كيلومترًا عن موقع سد الموصل، كما يلتقي النهر برافده نهر الخابور في فيشخابور على الحدود العراقية التركية. ويتغذى هذا الرافد ـ بمعظم مياهه ـ من الأراضي التركية أيضًا.

يتراوح عرض نهر دجلة وسهله الفيضي بعد دخوله العراق بين (1) كيلومتر و(10) كيلومتر بينما يبلغ انحدار النهر الطولي في مساره من الحدود العراقية ـ التركية لغاية موقع السد (0.65) مترًا لكل كيلومتر.

تبلغ مساحة حوض التغذية الكلية لنهر دجلة في الأراضي التركية (57614) كيلومترًا مربعًا منها (7414) كيلومتر هي مساحة تغذية الزاب الأعلى، والمتبقي البالغ (50200) كيلومترًا مربعًا هو ما يغذي خزان سد الموصل. ويوضح الشكل (2) حوض تغذية نهر دجلة في الأراضي التركية وروافده فيها.

لقد قامت تركيا خلال الفترة التي أعقبت إنشاء سد الموصل وابتداءًا من سنة (1985) بإنشاء عدد من السدود على روافد نهر دجلة، وتقوم الآن بتنفيذ سد أيلي صو على النهر نفسه، كما أن لديها خطط لإنشاء المزيد من السدود، كل ذلك ضمن تنفيذ

أعمال مشروع جنوب شرق الأناضول (GAP) للأغراض الإروائية وتوليد الطاقة الكهربائية، كما هو مبين في جدول (2) وسوف تكون لهذه السدود عند اكتمال إنشائها الأثر الكبير على واردات نهر دجلة الواصلة إلى سد الموصل[7، 6، 5، 4، 3، 2].



شكل 2: حوض تغذية نهر دجلة في تركيا

جدول 2: السدود على روافد دجلة في تركيا

Dam	Status
Dicle	completed in 1997
Batman	completed in 1998
Ilesu	under construction
Garzan	Suggested
Silvan	suggested
Kayseri	suggested

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/

3 ـ الموارد المائية والفيضانات

تعتمد حسابات الجريان السطحي (Runoff)[1] على الرصودات للسنوات المائية (Water Year)[2] المكونة لسجل الجريان السطحي. وتبدأ السنة المائية في الأول من تشرين الأول من كل سنة تقويمية وتنتهي في الثلاثين من أيلول من السنة التقويمية اللاحقة. وتكنى السنة المائية عادةً بالسنة التقويمية التي تنتهي فيها؛ لذا فإن كل سنة مائية في العراق تحتوي على موسم رطب وموسم ثاني جاف.

وقد اعتمدت في دراسات سد الموصل المعلومات المسجلة في محطة قياس التصاريف في مدينة الموصل لفترة (46) سنة امتدت من سنة (1931) لغاية سنة (1977).

وقد أمكن من هذه المعلومات احتساب مؤشرات الموارد المائية لسد الموصل.

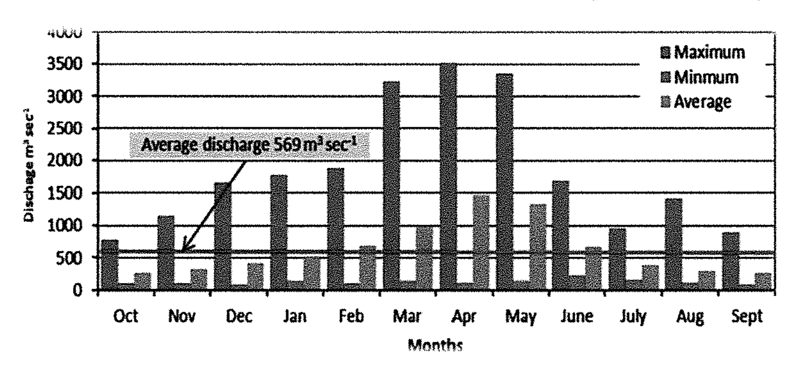
تمت مقارنة هذه الرصودات مع ما متوفر من تسجيلات في محطة قياس تصاريف محطة ريزوك (Rezuk) وهي آخر محطة رصد في الأراضي التركية قبل دخول نهر دجلة الحدود العراقية. وكانت الغاية التأكد من موثوقية التسجيلات في الموصل. واستخدمت المعلومات المتوفرة في ريزوك للسنوات المائية (1955 ـ 1962) و(1964 ـ 1968) و(1972).

وبتحليل الترابط الإحصائي بين هذه التسجيلات باستعمال الترابط الخطي البسيط (Simple Linear Regression) فقد وجد أن هناك علاقة وثيقة بين التصاريف في الموصل وتلك المسجلة في ريزوك مع وجود فارق زمني كما هو متوقع بين تحقق نفس التصاريف بين ريزوك والموصل بحدود يوم واحد. وبذلك أمكن الاعتماد على رصودات محطة القياس في الموصل في الحسابات اللاحقة بعد التأكد من صحتها وموثوقيتها[8]. وقد تم احتساب معدلات التصاريف السنوية الصغرى والوسطية والعظمى لنهر دجلة في الموصل والتي يمكن أن تؤخذ بعين الاعتبار في حسابات سد الموصل، كما في الجدول (3)، هذا بالإضافة إلى احتساب الوارد السنوي الأعلى والمتوسط والأدنى في الجدول نفسه.

جدول 3: معدلات التصاريف العليا والوسطى والصغرى لنهر دجلة في الموصل للسنوات (1931 ـ 1977)

	Annual Discharge m^3/ sec	Annual Runoff Million m^3
Minimum	370	11700
Mean	668	21100
Maximum	1370	43400

كما وفي دراسة أخرى حديثة أجريت في سنة (2014) عن الفترة (1931 ـ 2011) حول كمية الأمطار الساقطة، فقد أعطت هذه الدراسة معدلًا سنويًا لتصريف نهر دجلة في الموصل بمقدار (569) متر مكعب بالثانية، كما في الشكل (3)[3]. وربما يمكن تفسير الفرق؛ بأن سجل الأرصاد هو لفترة أطول ويضم سنوات متكررة ذات تصاريف واطئة، كما قد يعزى أيضًا لسحب مياه الري من خلال السدود المنجزة في مشروع جنوب غرب الأناضول، هذا بالإضافة إلى التغيرات المناخية التي تسود العالم وحالة الجفاف التي تؤثر حاليًا في منطقة شرق البحر الأبيض المتوسط.



شكل 3: المعدلات الشهرية الصغرى والوسطية والعظمى والمعدل السنوي لتصاريف نهر دجلة في الموصل (1931 ـ 2011)[3]

ومن سجل الرصودات، أمكن حصر تصاريف أعلى عشرة فيضانات للفترة من (1931) لغاية (1977)، كما هو مبين في الجدول (4) الذي يبين حجم تصاريف هذه الفيضانات وتواريخ حدوثها.

جدول 4: الفيضانات القصوى المسجلة في محطة رصد التصاريف في الموصل (1931 ـ 1977)

Number of Flood	Date	Peak Discharge m^3/s
1	2.5.72	7740
2	3.6.69	7680
3	12.4.63	7500
4	15.4.76	7210
5	28.1.66	6790
6	18.3.74	6370
7	17.2.35	5770
8	6.2.52	5360
9	20.4.68	5240
10	26.3.54	5200

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/

وتم أيضًا احتساب تكرارات الفيضانات السنوية القصوى مع احتماليات وقوعها باستعمال الطرق الإحصائية، وأمكن الحصول على تكرارات هذه الفيضانات (Frequency)[3] وفترات رجوعها (Return Periods)[4]. وتبين أن هذه التكرارات تتوافق مع نموذج (Log-Pearson III)[5] الإحصائي. ويبين الجدول (5) هذه الفيضانات وتكراراتها ومدد رجوعها.

جدول 5: تكرارات ومدد رجوع الفيضانات السنوية القصوى

Frequency %	Return Period Year	Peak Discharge m^3/s
0.01	10000	15000
0.10	1000	12000
0.50	200	10000
1.00	100	9400
2.00	50	8400
5.00	20	7300
10.0	10	6300
20.0	5	5200
50.0	2	3800

مما تقدم، وبالنظر للأهمية الكبيرة لسد الموصل ولضمان سلامته من أي حالة طفح (Overflow)؛ فقد اعتمدت التصاريف المبينة في جدول (6) لأغراض التصاميم (Design Floods)[6].

جدول 6: الفيضانات التصميميّة لسد الموصل

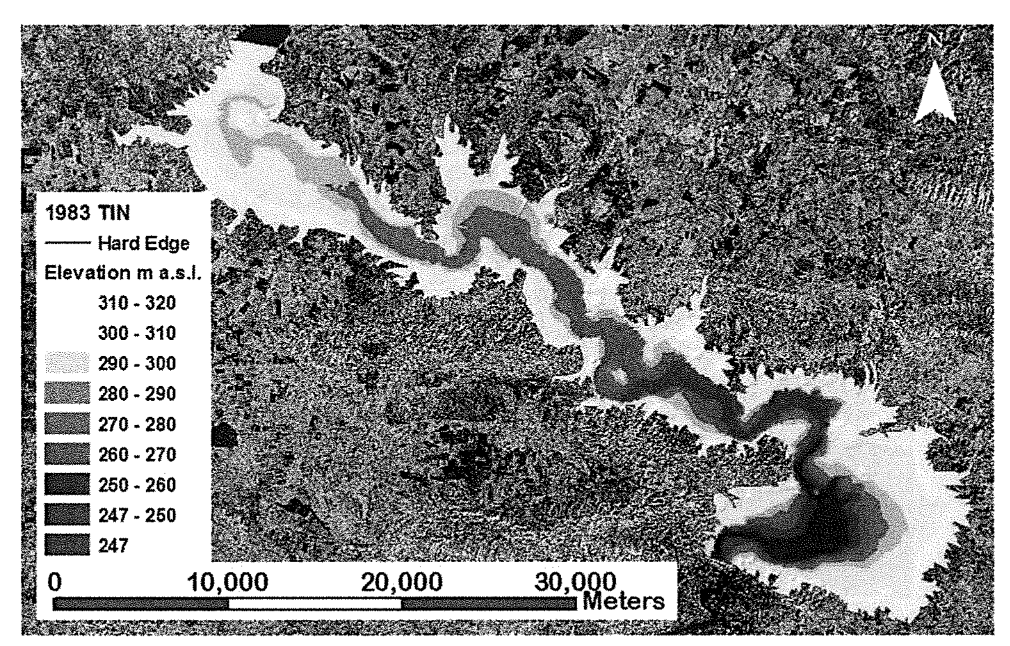
Return Period Years	Discharge m^3/s	Remarks
1000	12000	
10000	15000	
PMF	27000	This flood is not Obtained By Statistical methods

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/

ويعرف الفيضان الأقصى المحتمل (Probable Maximum Flood-PMF)[7] بأنه أعلى قيمة لأي فيضان يمكن أن يحدث نتيجة للهطول المطري الأقصى المحتمل متزامنًا مع أسوأ حالة ذوبان للثلوج (إذا ما كان حوض التغذية معرض لتساقط الثلوج)، وأن يحدث كل هذا في الوقت الذي يكون فيه حوض التغذية مشبعًا بالمياه من أمطار سابقة، بحيث تكون فاقدات الرشح أدنى ما يمكن ويتحول الهطول بأكمله إلى جريان سطحي.

4 - خزان سد الموصل

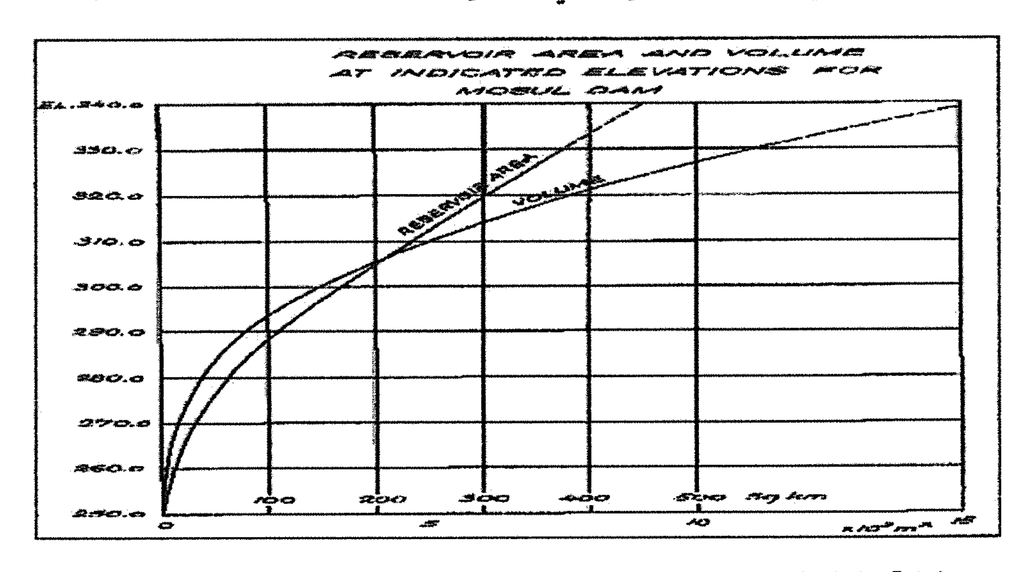
يمتد خزان سد الموصل طوليًا على مجرى نهر دجلة في المنطقة المحصورة بين خطي طول (′55°40) و(′86°40) وخطي عرض (′50°27) و(′00°32) ويبلغ طوله (45) كيلومترًا، بينما يتراوح عرضه بين (2) و(14) كيلومترًا، وتبلغ مساحته السطحية (380) كيلومترًا مربعًا في منسوب التشغيل الأقصى البالغ (330) مترًا فوق سطح البحر، وهناك سبعة وديان تصب في الخزان من الجانب الأيسر وثلاثة أخرى من الجانب الأيمن. ويبين الشكل (4) الخزان وكما يظهر في الصور الفضائية .



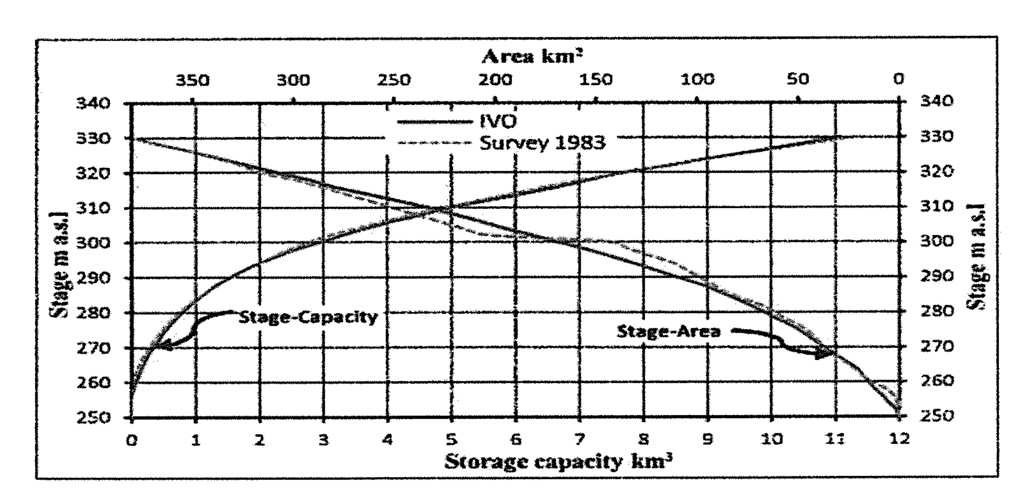
شكل 4: خزان سد الموصل كما يبدو من الصور الفضائية[9]

ومن خلال الدراسات التي قامت بها شركة أيمتران فويما الفنلندية لسد الموصل، أعدتها سنة (1968): منحنيات (السعة ـ المساحة ـ المناسيب) للخزان كما في

الشكل (5). وقد استندت عليها شركة اتحاد السويسريين في إعداد التقرير التخطيطي للسد لاحقًا. إلا أن دراسة محدثة قام بها مركز التحسس النائي في جامعة الموصل أعطت منحنيات تختلف بعض الشيء عن المنحنيات الأولى بحدود (4%) في منحنيي (السعة ـ المناسيب) و(7%) في منحنيي (المساحة ـ المناسيب)، وربما يعود السبب إلى أن الخرائط الطوبوغرافية التي استعملت من قبل أمتران فويما هي أقدم من تلك المستعملة من قبل جامعة الموصل. وفي الشكل (6) يبين مقارنة بين المجموعتين[9].

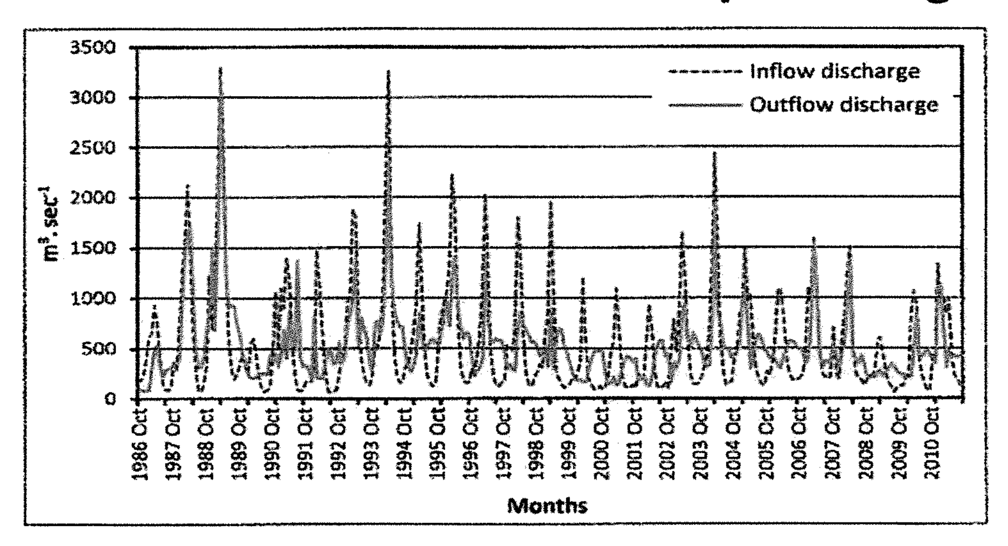


شكل 5: منحنيا (السعة ـ المناسيب) ومنحنيا (المساحة ـ المناسيب) بحسب أيمتران فويما (1968)

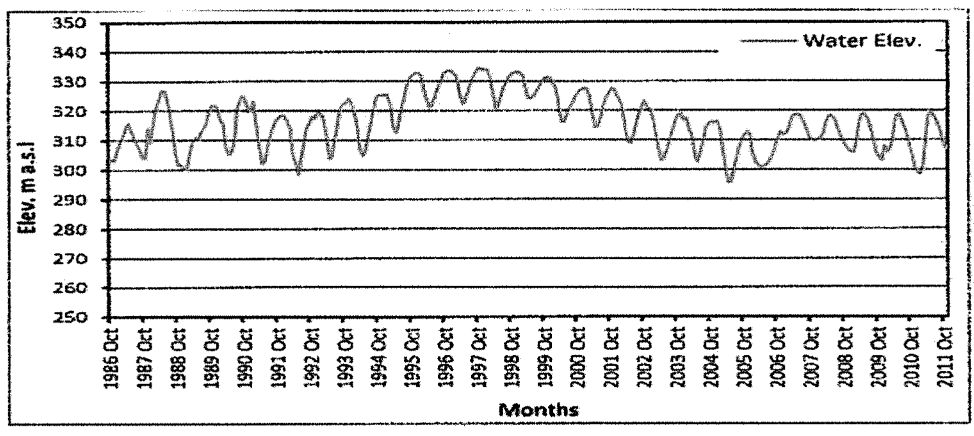


شكل 6: مقارنة منحنيات (السعة ـ المناسيب) و(المساحة ـ المناسيب) لشركة امتران فويما (1968) مع منحنيات مركز الاستشعار النائي في جامعة الموصل (1983)

وتبين معلومات تشغيل الخزان خلال الفترة منذ إملاء الخزان سنة (1986) لغاية سنة (2011) والمعلومات المستسقاة من وزارة الموارد المائية بأن معدل الوارد الشهري خلال سنوات التشغيل المذكورة قد بلغ (561) مترًا مكعبًا بالثانية، وهذا يتفق تقريبًا مع ما ورد في الشكل (3) والمصدر[3]، بينما كان المعدل الشهري للتصاريف المطلقة (555) متر مكعب بالثانية. لذا فإن المعدل الشهري للفاقدات من مياه الخزان خلال نفس الفترة بلغ (6) متر مكعب بالثانية؛ وهي تشمل فاقدات الرشح والتبخر، كما في الشكلين (7) و(8).



شكل 7: المعدل الشهري للوارد المائي والإطلاقات لخزان سد الموصل (وزارة الموارد العراقية 1986 ـ 2011)



شكل 8: المعدل الشهري لمنسوب خزان سد الموصل (وزارة الموارد المائية العراقية 1986 ـ 2011)

إن معدل التصاريف الشهرية الداخلة فعلًا إلى الخزان المبينة أعلاه، تظهر فرقًا

واضحًا عن ما سبق إليه من دراسة سجلات محطة رصد التصاريف في الموصل والتي تم ذكرها، ولعل ذلك يشير بصورة واضحة إلى التناقص المستمر بواردات نهر دجلة سواء بسبب ظاهرة الاحتباس الحراري أو نتيجة الاستخدام المتزايد للمياه في مشاريع الري التركية.

5 ـ الرسوبيات

سبق أن قامت شركتي هرزا الأمريكية وبني البريطانية بإجراء دراسة المسح الهيدرولوجي للعراق وقدما تقريرهما سنة (1963)[10]. وتضمنت الدراسة القيام بقياس الرسوبيات المنقولة في نهر دجلة، حيث احتوى التقرير على تفاصيل تلك القياسات التي بلغ عددها (50) قياسًا على مدى الفترة من تشرين الأول (1958) لغاية السابع والعشرين من (1962) كان فيها أعلى تصريف للنهر قد بلغ (3121) مترًا مكعبًا بالثانية، كما كان أقل تصريف (97) مترًا مكعبًا بالثانية. وقد اعتمدت هذه القياسات لاحقًا من قبل الاستشاريين السويسريين في دراسات سد الموصل، حيث أمكن من خلال القيم المسجلة وقيم التصاريف اليومية من رسم منحنى تغير الحمل الرسوبي المعلق مع الزمن (Suspended sediment load-Duration Curve) وبإجراء تكامل هذا المنحنى أمكن التوصل إلى حساب كمية الرسوبيات العالقة الكلية (Total Suspended Sediment Load) خلال تلك الفترة، فبلغت (44,5) مليون طن سنويًا.

ومع افتراض (10%) إضافية كحمل قعري (Bed Load)، يكون المجموع الكلي للرسوبيات المنقولة (49) مليون طن سنويًا؛ أي: ما يعادل (886) مترًا مكعبًا سنويًا لكل كيلومتر مربع من مساحة حوض التغذية بافتراض معدل كثافة الرسوبيات بمقدار (1100) كيلوغرام لكل متر مكعب.

وفي دراسة حديثة لرسوبيات الخزان[11]، تبين أن معدل تقلص السعة الخزنية للخزان يساوي (0,44%) سنويًا؛ وعليه يكون عمر الخزان بحدود (121,5 ـ 127) سنة.

استنادًا إلى ما تقدم، وباعتبار أن العمر التشغيلي لسد الموصل هو (100) سنة، فإن الرسوبيات المتراكمة في الخزان البالغة بحدود (445) مليون متر مكعب سوف تصل إلى منسوب (271) متر فوق سطح البحر، وعليه فقد تم تثبيت منسوب (300) متر فوق سطح البحر منسوب الخزن الميت لأغراض احتجاز الرسوبيات مع اعتماد عمق كافي (29) متر فوق أعلى منسوب للرسوبيات من أجل التشغيل السليم للمحطة الكهرومائية.

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/

6 ـ تشغيل خزان سد الموصل

لغرض تحقيق أمثل وأفضل الفوائد المتوخاة من تشغيل خزان سد الموصل، فقد كان ولا بد من تطبيق نموذج رياضي للمحاكاة (Simulation Model 1)[8] للوصول إلى الحلول المثلى (Optimization)[9] في إشباع احتياجات الري ولتوليد الطاقة الكهربائية وتوفير الحماية الفيضانية. ولقد أعطيت الأولوية لاحتياجات الري التي سبق تحديدها؛ حيث خمنت شركة كولجيان الأمريكية احتياجات مشاريع الجزيرة الثلاثة لري مساحة (250000) هكتار من الأراضي الزراعية، بينما حددت الجهات العراقية احتياجات التوسع في مشاريع الري في وسط وجنوب العراق لري مساحة (750000) هكتار من الأراضي الزراعية؛ لذا فقد بلغت احتياجات هذه المشاريع جميعًا (300 ـ 350) متر مكعب بالثانية طوال أيام موسم الصيف، وعليه اعتماد (330) متر مكعب بالثانية كمعدل، كما يتم توليد الطاقة الكهربائية باعتبارها ناتج عرضي من اطلاقات الري والاحتياجات البلدية. وعلى هذا الأساس، فقد تم التوصل إلى مناسيب التشغيل وحجوم الخزن المقابلة لها لخزان سد الموصل بعد أخذ الحماية الفيضانية بنظر الاعتبار.

ويلاحظ هنا، بأنه على الرغم من أن المنسوب الأعلى للرسوبيات المتوقع لا يتجاوز منسوب (271) متر فوق مستوى سطح البحر، إلا أن مستوى التشغيل الأدنى قد اعتمد منسوب (300) متر فوق سطح البحر من أجل التشغيل الآمن للمحطة الكهرومائية بترك وسادة مائية بحدود (29) مترًا لتلافي سحب الهواء إلى التوربينات والتسبب بحصول تنقر (Pitting) في البشارات وكما سبق ذكره. ويوضح الجدول (7) المناسيب والسعات الخزنية المعتمدة وإطلاقات المياه المطلوبة في خطة تشغيل سد الموصل.

جدول 7: خطة تشغيل خزان سد الموصل

الوصف	المناسيب والسعات
أعلى منسوب للتشغيل ألاعتيادي	330 متر فوق سطح البحر
أعلى منسوب فيضاني	335 متر فوق سطح البحر
أدنى منسوب تشغيلي	300 متر فوق سطح البحر
الإطلاقات المطلوبة للري	330 متر مكعب بالثانية
السعة الخزنية في منسوب التشغيل الأعلى ألاعتيادي	11110 مليون متر مكعب
ألسعه الخزنية في المنسوب التشغيلي الأدنى	2950 مليون متر مكعب
كمية ألمياه لأغراض الزراعة والتوليد	8160 مليون متر مكعب
السعه الخزنية لتسليك الفيضانات بين منسوب 033 و335 متر فوق سطح البحر	2030 مليون متر مكعب

* أما مراحل التشغيل السنوي فهي كما يلي:

- من بداية كانون الثاني لغاية نهاية آذار:

يتم الصعود في مناسيب الخزان مع الحفاظ دائمًا على سعة خزنية احتياطية بحدود (3000) مليون متر مكعب لاستقبال فيضانات شهر نيسان، بحيث يتم الوصول إلى منسوب (330) متر فوق سطح البحر في نهاية موسم الفيضان، وتستخدم الإطلاقات خلال هذه الفترة لتوليد الطاقة الكهربائية، وفي حالة تجاوز الإطلاق سعة تصريف المحطة يطلق الفائض عن طريق المسيل المائي.

- خلال الشهور الجافة:

يتم إطلاق المياه من خلال المحطة الكهرومائية لتوليد حمل الذروة لمدة خمسة ساعات يوميًا ويعاد تنظيم الجريان بواسطة السد التنظيمي لإطلاق احتياجات الري بواقع (330) متر مكعب بالثانية، وفي الوقت نفسه توليد حمل الأساس من محطة التوليد في سد الموصل.

وتجدر الإشارة إلى أنه عند احتساب السعة المطلوبة لتحقيق الحماية الفيضانية، فقد تم تسليك الفيضانات التصميمية (Flood Routing)[10] التي سبق التنويه عنها وهو فيضان ذو تكرار (1:1000) سنة، وفيضان (1:10000) لتلافي أي حالة ممكنة لحصول الطفح فوق قمة السد (Overtopping).

وقد استخدمت في الحسابات الفرضيات التالية:

- يبدأ الفيضان التصميمي بالدخول إلى الخزان عندما يكون منسوب الخزن في منسوب التشغيل الأعلى الاعتيادي البالغ (330) متر فوق سطح البحر.

- استخدام المسيل المائي حصرًا لتفريغ المياه دون اللجوء إلى طوربينات المحطة والمنافذ السفلى. ويتم فتح بوابات المسيل الخمسة التي يبلغ عرض كل منها (13,30) مترًا بصورة كاملة، علمًا أن منسوب قمة هدار المسيل (Weir Sill Level) هو (317,5) متر فوق سطح البحر.

هذا، وقد تمت دراسة سيناريوهات أخرى في حالة حصول عطل في بوابة واحدة أو بوابتين تزامنًا مع أحد الفيضانات التصميمية، وكما هو مبين في الجدول (8) التالي:

جدول 8: تسليك الفيضان في خزان سد الموصل

الفيضان التصميمي	التصريف المطلق من المسيل متر ^{3} / بالثانية	منسوب الخزان (متر فوق سطح البحر)
فيضان ذو تكرار مره كل 1:1000 سنه بوابتان مغلقتان	5650	334.35
فيضان ذو تكرار مره كل 10000 سنه بوابه واحده مغلقه	7700	334.65
الفيضان الأقصى المحتمل كافة الأبواب مفتوحه	12400	337.85
الفيضان الأقصى المحتمل كافة الأبواب مفتوحه والمسيل الاضطراري المساعد يبدأ بالعمل	10600	338.45

وتقتضي الإشارة هنا بأنه في حالة الفيضان الأقصى المحتمل (PMF) الذي يتجاوز مقداره (27000) متر مكعب بالثانية ويكون كافة أبواب المسيل مفتوحة؛ فإن منسوب الخزان سوف يصل إلى المنسوب الذي يسمح باشتغال المسيل الاضطراري (Fuse Plug Emergency Spillway) وهو منسوب (338) متر فوق مستوى سطح البحر، حيث يبدأ الجزء الترابي منه بالانهيار ليبدأ الهدار الخرساني تحته بتصريف المياه (وسوف يتم إعطاء فكرة كاملة عن المسيل الاضطراري في الفصلين الرابع والخامس)، ويتم هذا الأمر من أجل حماية السد من طفح المياه فوق قمته وانهياره بالكامل.

إن خطة التشغيل المشار إليها قد تم تعديلها سنة (2006) وذلك بتوصية من قبل لجنة خبراء دولية تم التعاقد معها من قبل وزارة الموارد المائية حيث تم اعتماد منسوب (219) كمنسوب تشغيلي أعلى بدلًا من منسوب (330)؛ كإجراء احترازي لتعزيز سلامة السد، مما اقتضى إعادة النظر بتفاصيل الخطة برمتها. ويعود السبب في هذا الأمر إلى تفاقم حالة ذوبان الجبسم في أسس السد وما حوله مما أدى إلى ظهور خسفات أرضية بالقرب من جسم السد إضافة إلى التدهور المستمر في حالة ستارة التحشية العميقة في أسس السد. وسوف يتم شرح هذا الموضوع تفصيليًّا في الفصول اللاحقة.

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press /سحب ثالث/ سد الموصل

الهوامش

(1) **Runoff:** The drainage away of water from the surface of an area of land.

(2) **Water Year: A water year** (also discharge year or flow year) is a term commonly used in **hydrology** to describe a time period of 12 months for which **precipitation** totals are measured. Its beginning differs from the **calendar** year because part of the precipitation that falls in late autumn and winter accumulates as **snow** and doesn't drain until the following spring or summer's **snowmelt**. Due to meteorological and geographical factors, the definition of the water years varies; the **United States Geological Survey** defines it as the period between October 1st of one year and September 30th of the next. The water year is designated by the calendar year in which it ends, so the 2010 water year (USGS) started on October 1, 2009 and ended on September 30, 2010.The same definition is adopted in Iraq.

(3) **Frequency:** the rate at which something occurs or repeated over a particular period of time or in a given sample.

(4) Return Period: A **return period**, also known as a **recurrence interval** (sometimes **repeat interval**) is an estimate of the likelihood of an event, such as an **earthquake, flood** or a **river discharge flow** to occur. It is a statistical measurement typically based on historic data denoting the average recurrence interval over an extended period of time, and is usually used for risk analysis (e.g. to decide whether a project should be allowed to go forward in a zone of a certain risk, or to design structures to withstand an event with a certain return period). The following analysis assumes that the probability of the event occurring does not vary over time and is independent of past events.

(5) The Pearson type III distribution is a **gamma distribution**. It is used in statistical analysis and finds applications in hydrology.

(6) **Design Flood:** The flood, either observed or synthetic, which is chosen as the basis for the design of hydraulic structure.

(7) **PMF.** The Probable Maximum Flood is the largest flood that could conceivably occur at a particular location, usually estimated from probable maximum precipitation, and where applicable, snow melt, coupled with the worst flood producing catchment conditions. Generally, it is not physically or economically possible to provide complete protection against this event.

(8) **Simulation Model:** A Simulation Model is a mathematical model which combines both mathematical and logical concepts that tries to emulate a real life system through use of computer software.

(9) **Optimization:** Is finding the highest **achievable performance** under the given **constraints. Computer simulation** (modeling), optimization is achieved usually by **using linear programming techniques** of **operations research.**

(10) **Flood Routing: In hydrology, routing** is a technique used to predict the changes in shape of a hydrograph as water moves through a **river channel** or a **reservoir.** In **flood forecasting.**

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press /سحب ثالث/ سد الموصل/

References / المصادر

[1] MWO, Weather information Service. http://worldweather.wmo.int/en/city-.html?cityId = 1467

[2] Al-Ansari, N.A., 2013, Management of Water Resources in Iraq: Perspectives and Prognoses, J. Engineering, V.5, 8, 667-684.

[3] Issa, I.E., Al-Ansari, N.A., Sherwany, G., and Knutsson, S., 2014, Expected Future of Water resources within Tigris-Euphrates Rivers basin, Iraq, J. Water Resource and Protection, V.6, No.5, 421-432.

[4] Al-Ansari, N.A., Ali, A. and Knutsson, S., 2014, Present conditions and Future Challenges of Water Resources Problems in Iraq, J. Water Resources and Protection, V.6, No. 12, 1066-1098.

[5] Al-Ansari, N.A., Ali, A.A. and Knutsson, S., 2015, Iraq Water Resources Planning: Perspectives and Prognoses, ICCCE 2015: XIII International Conference on Civil and Construction Engineering, Jeddah, Saudi Arabia, 26-27 January, 2015, 2097-2108.

[6] Al-Ansari, N.A., 2016, Hydropolitics of the Tigris and Euphrates Basins, Engineering, V.8, 3, 140-172.

[7] Al-Ansari, N.A. and Knutsson, S., 2011, Toward Prudent management of Water Resources in Iraq, J. Advanced Science and Engineering Research, V.1, 53-67.

[8] Swiss Consultants consortium "Saddam (Mosul) Dam project. Final Report. Vol.1, Sec.2.3 Hydrology". December 1989.

[9] Issa.I.E. "Sedimentological and Hydrological Investigations of Mosul Dam". Doctoral Thesis, Department of Civil Engineering and Natural Resources Engineering, Lulea Technical University, 2015.

[10] Harza Engineering Company and Binnie and Partners. "Hydrological Survey of Iraq. Vol II, Appendix A". July 1963.

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press /سحب ثالث/ سد الموصل/

الفصل الرابع

السد الركامي

1 ـ المقدمة

يقتصر البحث في هذا الفصل على التفاصيل الهندسية للسد ومنشآته في المشروع الرئيسي أي في (الموصل 1)، ولن يتطرق إلى السد التنظيمي ـ وهو ما أطلق عليه (الموصل 2) ـ الذي يكمل وظائف المشروع الرئيسي بتنظيم الجريان وتوليد الطاقة. كما لن يتطرق أيضًا إلى مشروع الخزن بالضخ الذي يكمل وظائف المشروع الرئيسي أيضًا في توليد حمل الذروة. ويعود السبب في ذلك إلى أن المشروع الرئيسي يمثل الجزء الأعظم والأهم، وأن سلامته وحسن أدائه هو موضوع بحثنا هنا.

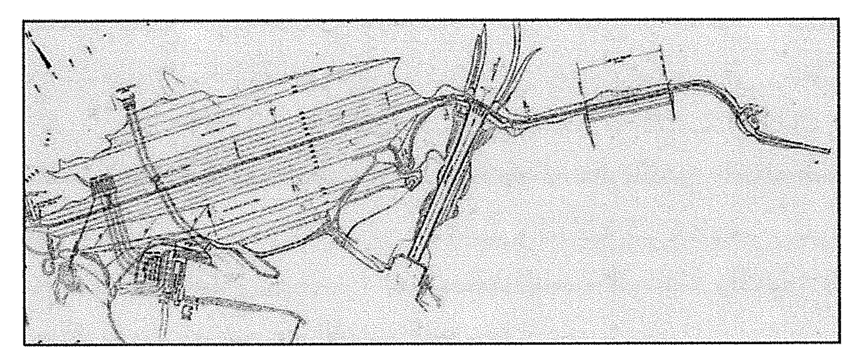
2 ـ السد الركامي

يشكل السد الترابي العنصر الأساسي في احتجاز مياه الخزان، وقد اختير هذا النوع من السدود لاعتبارات الأسس والطول المطلوبة للسد، إضافة إلى توفر المواد الأولية بصورة كبيرة. والسد هو سد إملائي من المواد الترابية المختارة والمضغوطة وفقًا لمواصفات دقيقة ومحددة للحصول على معاملات الأمان المطلوبة في التصميم.

ويتكون السد الركامي من جزئين هما :

ـ السد الرئيسي (Main Dam).

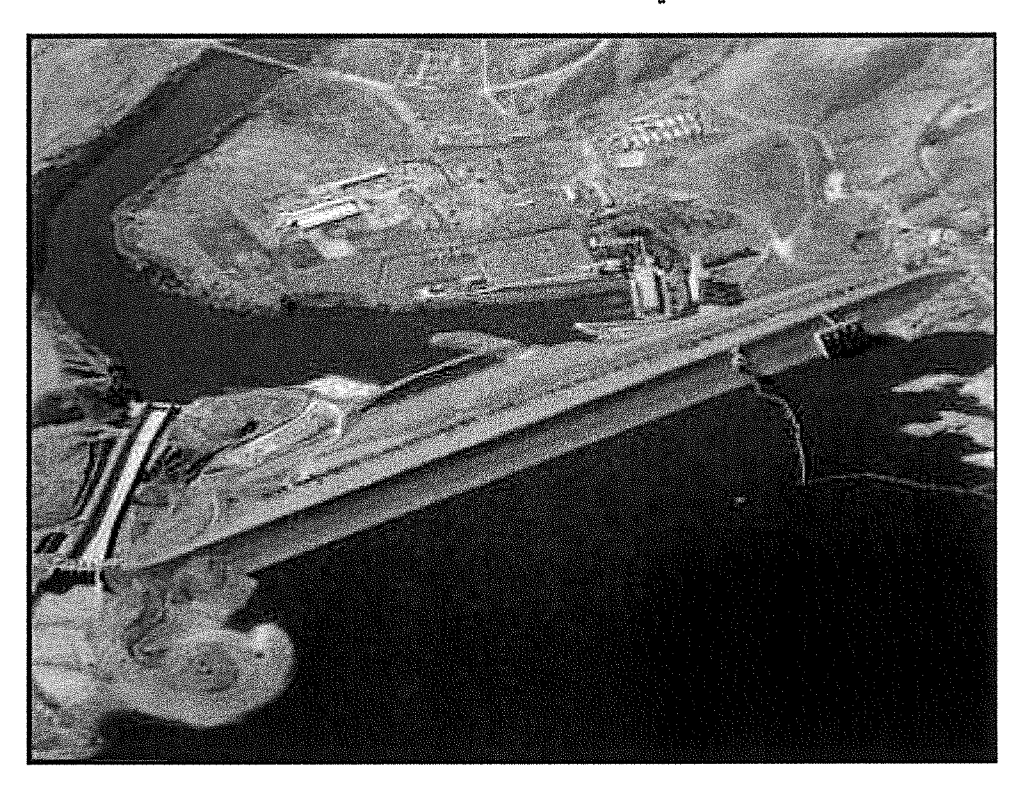
ـ السد الثانوي أو ما يعرف بسدة السرج (Saddle Dam) وكما هو مبين في الشكل (1).



شكل 1: السد الرئيسي والسد الثانوي مع المنشآت الخرسانية

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/

يمتد السد الرئيسي من الجانب الأيمن لمنشأ السيطرة للمسيل المائي (Spillway Head Structure) في الجانب الأيسر من النهر ويستمر باتجاه الغرب؛ فيغلق مجرى نهر دجلة؛ ليمتد بعد ذلك في الكتف الأيمن حيث يقع جبل وادي المالح المكون للجناح الشرقي من طية بطمة جزءًا من هذا الكتف. وفي الشكل (2) صورة جوية للسد الرئيسي ومنشآته الخرسانية.



شكل 2: صورة جوية للسد ومنشآته الخرسانية

إن تصميم مقطع السد اعتيادي وتقليدي لتحقيق أعلى درجة من الاستقرارية في حالات التشغيل المختلفة، ويتمثل بلب طيني أصم وعريض في وسط المقطع مسنودًا من المقدم والمؤخر بكتلتين كبيرتين تشكلان القشرة الأمامية والقشرة الخلفية للسد (Upstream and Downstream Shells) تتكونان من المواد الحصوية.

ويفصل بين اللب وكل من القشرتين الأمامية والخلفية شريحتان من المرشحات، الأولى: الملاصقة للب وتتكون من المرشحات الناعمة الرملية، والثانية: الملاصقة للقشرة وتتكون من المرشحات الخشنة الحصوية.

حيث تعمل المرشحات في الجهة الخلفية على تأمين اللب الطيني من التآكل

ـ نتيجة للرشح ـ، ومن حصول حالة من الانجراف الداخلي (Internal Erosion)[1] فيه، وبالتالي منع دقائق الطين من التسرب في حالات امتلاء الخزان وتشغيله. كما تعمل هذه المرشحات لتصريف أي رشح قد يحصل خلال اللب بصورة أمينة.

وهناك ـ أيضًا ـ في قاعدة المقطع ـ في المؤخر ـ بساط للصرف (Drainage Blanket) من المرشحات بطبقتين أيضًا لتأمين صرف المياه الراشحة عبر المرشحات وتصريفها خارجًا، وتلافي حصول ضغط الإصعاد (Uplift Pressure)[2] من الأسفل على مؤخر قاعدة السد.

أما المرشحات في الجهة الأمامية من اللب الأصم؛ فتعمل على حماية هذا اللب عند تفريغ الخزان السريع وحماية دقائقه من الانجراف الداخلي أيضًا، وكذلك حماية هذا اللب عند حصول أية تشققات فيه لأي سبب، حيث تملأ مواد المرشحات تلك الشقوق وتمنعها من التوسع وتحمي دقائق الطين من الانجراف أيضًا، وهو ما يعرف بعملية الاندمال الذاتي (Self-Healing).

وقد أضيف إلى المقطع في الأسفل قدمتان أو مسطبتان في المقدم وفي المؤخر مكونتان من المواد الإملائية العشوائية لغرض زيادة استقرارية السد بزيادة وزنه، وتعرف هاتين الكتلتين بكتل القدمات (Toe Weights) أو (Toe Berms).

وتجدر الإشارة إلى أن هاتين الكتلتين قد أضيفتا بتوصية من مجلس الخبراء العالمي عند قيامه بتدقيق تصميم السد واستقرارية المقطع، حيث ظهر بأن هناك احتمال لحصول فشل في استقرارية السد عند تعرضه لهزة أرضية، معتمدة في التصميم بانزلاقه على سطح أيٍّ من العروق الطينية في الأسس التي سبق ذكرها في (الفصل الثاني ـ 4 ـ رابعًا ـ 4).

أما تكسيات الحماية لجسم السد، فقد أضيفت طبقة من الحجارة (Rip Rap) كتكسية حجرية في الجهة الأمامية للسد تمتد من قمة القدمة الأمامية في منسوب (390) متر وحتى قمة السد لغرض حماية هذه القشرة من الموج. بينما تم تغطية الجهة الخلفية برمتها بطبقة من الحجارة الناعمة لحمايتها من تأثير الأمطار ومنع موادها من الانجراف. وقد أضيفت على قمة السد وغلفتها طبقة من الصخور الكبيرة فوق منسوب (330) متر اعتمدت كطبقة لحماية قمة السد من القصف الجوي، وجرى تسميتها بالطبقة الفالقة (Blasting Cover).

وقد أضيفت الطبقة الفالقة هذه بناءً على توصية عضو مجلس الخبراء العالمي السيد كريستيان كرونر النرويجي الجنسية معتمدًا في ذلك على التجربة النرويجية

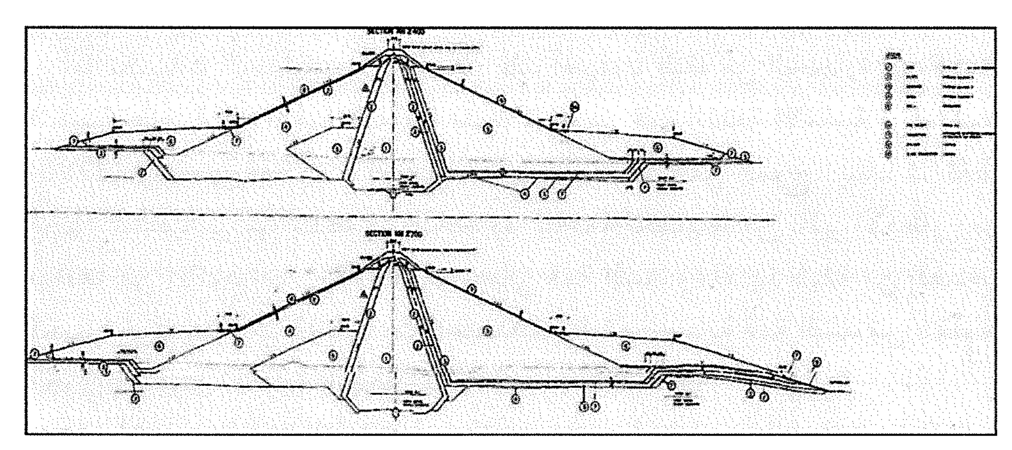
والتصاميم المعتمدة لحماية السدود النرويجية من التهديد المحتمل من طرف الاتحاد السوفيتي آنذاك. ويمكن أن تتحمل هذه الطبقة ضربة مباشرة بقنبلة زنة (10) طن، حيث قد تحدث حفرة بعمق (2) متر دون أن تنفذ من خلال هذه الطبقة التي يبلغ سمكها (4) مترًا[1].

ويذكر بأن هناك أيضًا خندق قاطع تم حفره في الأسس أسفل اللب الطيني عرضه من الأعلى يساوي عرض قاعدة هذا اللب، ويبلغ أقصى عمق له بحدود (30) مترًا، حيث تمت إزالة المواد الغرينية الرسوبية من قاعدة اللب. وبذلك فقد تم فرش قاعدة اللب على صخور طبقة المارل، وفي بعض الأماكن لم يكن بالإمكان تلافي طبقات البريشيا الجبسية المتداخلة مع صخور الطفل.

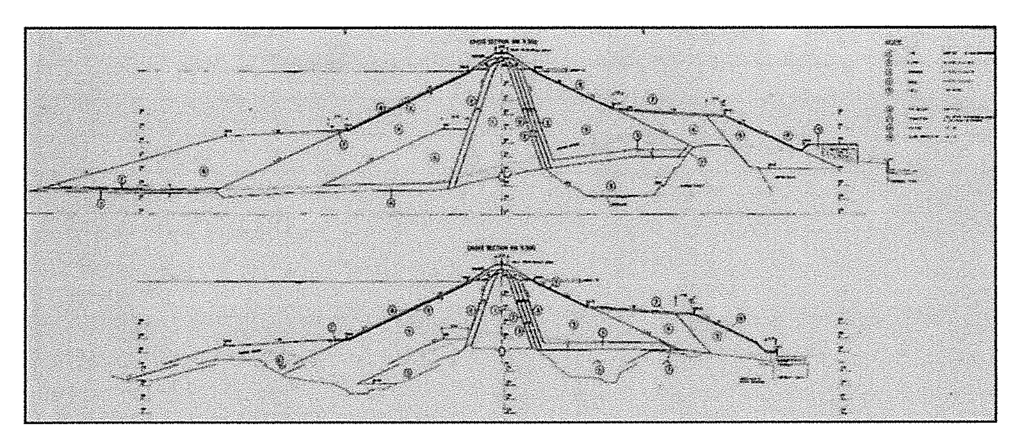
أما حفريات الأسس تحت القشرة الأمامية والخلفية، فقد كانت أقل عمقًا وتم الاكتفاء بالحفر لقلع المواد الغرينية والرملية للوصول إلى طبقة ترسبات الشرفات من المدملكات (Conglomerates) لجعلها أساسًا للقشرتين الأمامية والخلفية.

وأخيرًا؛ فقد تم الاكتفاء بقشط التربة السطحية فقط في تحضير أسس القدمات الأمامية والخلفية دون أية متطلبات إضافية، حيث إن الغرض من هاتين الكتلتين هو إضافة وزن إلى كتلة السد فقط، كما سبق بيانه.

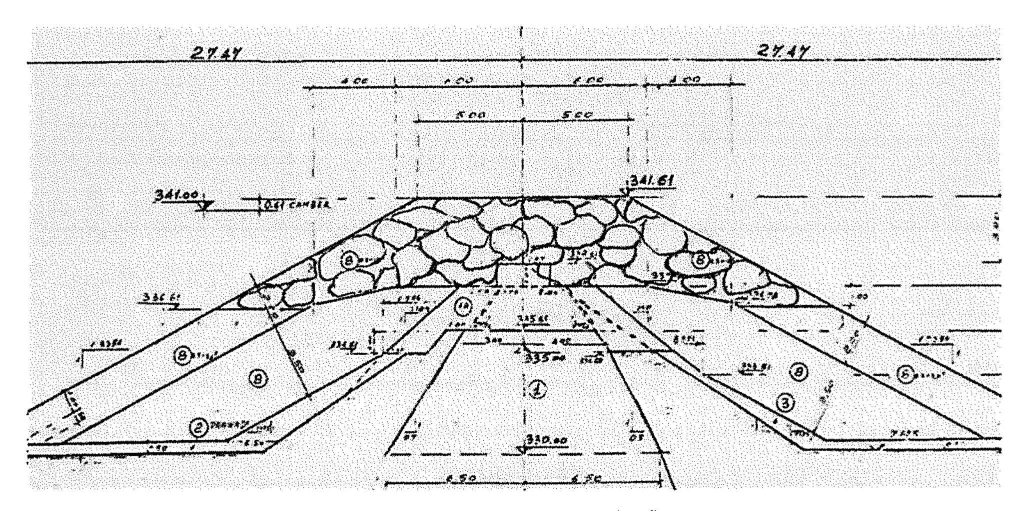
وفي الشكل (3) مقاطع للسد الرئيسي في مقطع النهر في المحطات (400 + 2) و(700 + 2)، أما الشكل (4) فهو لتفاصيل مقاطع للسد في الكتف الأيمن في المقطع (300 + 3) والمقطع (500 + 3)، كما أن الشكل (5) يعطي تفاصيل الطبقة الفالقة لحماية قمة السد.



الشكل 3: المقاطع العرضية للسد في المحطة (400 + 2) والمحطة (700 + 2) في مقطع النهر



الشكل 4: مقاطع عرضية للسد في المحطة (300 + 3) والمحطة (500 + 3) في الجانب الأيمن



الشكل 5: تفاصيل الطبقة الفالقة فوق قمة السد

أما الأبعاد الهندسية لمقطع السد الرئيسي، فقد روعي في اختيار ارتفاع السد بأن يحقق كافة متطلبات الأمان ضد طفح المياه فوق قمته مع أخذ أي هبوط في جسم السد بنظر الاعتبار؛ كذلك فقد تمت مراعاة متطلبات الأمان ضد الرشح في اختيار أبعاد وتفاصيل اللب وطبقات المرشحات. كما أن تحليل استقرارية السد لكافة حالات التحميل أدت إلى تحديد الميول الجانبية الأمامية والخلفية.

كما أن تفاصيل وأبعاد المسطبتين الأمامية والخلفية قد حكمهما تحليل الاستقرارية في حالات الهزات الأرضية وكما أسلفنا. وأمكن من كل هذا، الحصول على معاملات أمان كافية لاستقرارية السد في جميع حالات التحميل المحتملة. ويمكن تلخيص كافة هذه الأبعاد والميول في الجدول التفصيلي رقم (1).

جدول 1: الأبعاد والميول الجانبية لكافة أجزاء المقطع العرضي للسد الرئيسي

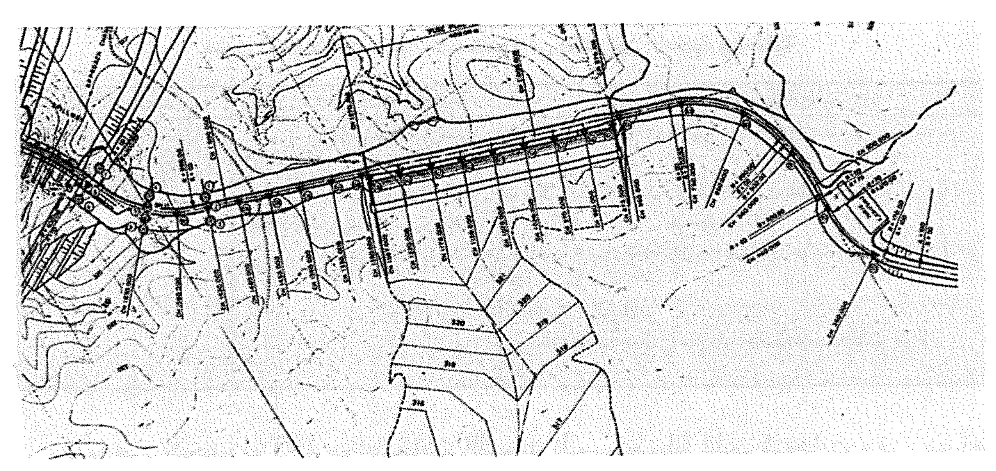
السد الرئيسي	
اقصى ارتفاع للسد	113 متر
اقصى عرض لقاعدة السد	650 متر
قمة السد (Dam Crest) - الطول - العرض	 2214 متر 10 متر
الانحدارات الجانبية (Side Slopes) - القشرتان الأمامية والخلفية - تحت منسوب 330 متر فوق سطح البحر - فوق منسوب 330 متر فوق سطح البحر - القدمتين	 1 : 2.5 1 : 1.73 كحد اقصى 1:4
اللب الاصم - اقصى عرض في القاعدة - العرض في القمة - المنسوب العلوي للب	 78 متر 7 متر 337.00 متر فوق سطح البحر
ثخن سمك الحماية الحجرية من الموج (Rip Rap)	1 متر
ثخن سمك التكسية الحجرية الخلفية	0.6 متر

3 ـ السد الثانوي

يمتد السد الثانوي من يسار منشأ سيطرة المسيل المائي باتجاه الشرق ليغلق بعد ذلك مع جبل طيرة في الجانب الأيسر من النهر، وتجدر الإشارة بأن السد الثانوي يشمل أيضًا في جزء منه ما يعرف بسدة الأمان (Fuse Plug)، حيث يحوي هذا الجزء على هدار خرساني يعمل كمسيل اضطراري (Emergency Spillway) يكمل عمل المسيل الرئيسي لإمرار التصاريف الزائدة في حالة وقوع حالة فيضان تتجاوز كافة الفيضانات المتوقعة التي سبق شرحها في (الفصل الثالث ـ الفقرة 3)، وبالأخص عند حصول كارثة انهيار لأحد السدود التركية في أعلى مجرى النهر، وبالتالي منع حصول طفح على قمة السد.

يبلغ طول سدة الأمان (400) مترًا، وتتكون من هدار خرساني مرتبط بجسم السد الثانوي ويكون جزء منه بين المحطتين (870 + 0) و(270 + 1) فيكمّل مقطع السد ضمن هذه المسافة. [ويمكن الرجوع إلى الفصل الخامس الفقرة (2) منه للمزيد من التفاصيل]. ويمتد السد الثانوي بضمنه المسيل الثانوي أو الإضطراري من المحطة (000 + 0) لغاية جدار المسيل الرئيسي الأيسر في المحطة (700 + 1).

ويبين الشكل (6) خريطة للسد المذكور بضمنه المسيل الثانوي الذي يعتبر جزءًا لا يتجزأ من هذا السد.



شكل 6: السد الثانوي بضمنه المسيل الثانوي الاضطراري

4 ـ المواد المستعملة في تنفيذ السد الركامي

تم استخراج المواد الترابية ـ سواء الطينية منها أو الحصوية والرملية ـ المستعملة في إنشاء السد بجزئيه الرئيسي والثانوي من المقالع المخصصة لذلك والقريبة من موقع السد والتي تم تحديدها في التحريات الأولية، وتم تثبيت الكميات المطلوبة منها. وقد أجريت على هذه المواد الفحوصات الحقلية والمختبرية اللازمة لإثبات صلاحيتها وتحديد طريقة استخدامها. وفي الجداول من رقم (2) لغاية رقم (5) تصنيف كافة هذه المواد ومواقع استعمالها في جسم السد مع متطلبات الاستعمال والمواصفات الخاصة بها.

جدول 2: مواصفات الطين المستعمل في لب السد

مكان الاستعمال	تصنيف المادة ومصدرها	المواصفات وطريقة الاستعمال
اللب (Core)	طين (Clay) من المقالع المخصصة ومن حفريات الاسس من مادة الطفل الطيني	- حد السيولة (L.L) = %38.6 – %43.6 - حد اللدونة (P.L) = 21.1 %– %21.5 - مؤشر اللدونة (P.I) = %17.5 – %22.1 - معدل الكثافة /kn القصوى= 17.1 - معدل الرطوبة عند الفرش= %19.7 - النفاذية =1.8× 10-6 سنتيميتر/ ثانيه - ثخن سمك الفرشة = 25 سنتيمتر - عدد مرات الحدل= حسب نتائج تجارب الحدل الموقعين؟؟؟؟ - المعدات المستعملة: الحادلات الضلفية

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/

جدول 3: مواصفات المواد المستعملة في القشرتين الأمامية والخلفية

مكان الاستعمال	تصنيف المادة ومصدرها	مواصفات المادة وطريقة الاستخدام
القشرتين الأمامية والخلفية (Shells)	حصى ورمل خابط مستخرج اما من الترسبات النهرية في الشواطئ او من الكونكلوميريت من ترسبات الشرفات	- نسبة المواد الناعمة اقل من 0.08 سنتيمتر لا تزيد عن 5.2% - نفاذية المواد المستخرجة من الكونكلوميريت = 2×10-1 – 4.5 × 10-2 سنتيمتر / ثانيه - نفاذية المواد المستخرجة من الترسبات النهرية = 1.5× 10-2 – 3×10-2 سنتيميتر / ثانية سمك الفرشة = 50 سنتيمترا باستخدام حادلات هزازة ملساء

ويلخص الجدول (4) مواصفات المواد المستعملة للمرشحات وفي بساط الصرف، كما يلخص الجدول (5) مواصفات المواد المستعملة في القدمات الأمامية والخلفية وفي التكسيات.

جدول 4: مواصفات المواد المستعملة في المرشحات وبساط الصرف

مكان الاستعمال	تصنيف المادة ومصدرها	مواصفات المادة وطريقة الاستعمال
المرشحات	الحصى والرمل الخابط المستخرج من الترسبات النهرية	تعالج المواد في معامل الغربلة للحصول على التدرجات المطلوبة
- المرشح الناعم مقدم ومؤخر اللب		- يتكون من رمل وحصى ناعم متدرج بأحجام (0-7) ملمتر
- المرشح الخشن مقدم ومؤخر اللب		- خليط من الرمل والحصى الناعم والمتوسط (20%) من (0 – 7) ملمتر (80%) من (7 – 25) ملمتر
بساط الصرف		حصى متوسط الى خشن (20%) من (7- 25) ملمتر (80 %) من (25 -150) ملمتر

وقد روعي في انتقاء المواد أن تحقق المواصفات المطلوبة، كما أن الجزء الأكبر منها اقتضى معالجات غاية في الدقة قبل الاستعمال؛ لكي تتفق مع ما ورد في تلك المواصفات.

ولكي تحقق الفرضيات التصميمية؛ فقد عولج الطين المستخرج من المقالع ومن حفريات الأسس من تركيب الطفل الأعلى ذو المحتوى العالي من الطين بحيث تكون رطوبته مقاربة للرطوبة المثلى حتى تحقق أعلى كثافة ممكنة وبالتالي أقل نفاذية بعد الحدل.

كما روعي إجراء فحوصات الحدل التجريبية على أكداس ذات فرشات متعددة وتغيير سمك تلك الفرشات واستعمال معدات مختلفة للحدل من أجل اختيار السمك المناسب للطبقة وعدد مرات الحدل ونوع الحادلة التي تعطي أفضل النتائج. وتم استعمال الغرابيل المناسبة في معامل الغربلة في إنتاج المرشحات

للحصول على التدرج الحبيبي ضمن منحنيات التدرج المحددة في المواصفات بعد غسل المادة الخام لإزالة المواد الناعمة التي تقع خارج تلك المنحنيات، كما جرى الشيء نفسه بالنسبة لمواد القشرة والحمايات الحجرية المختلفة.

بلغت كميات الاعمال الترابية في حفريات وإملائيات السد أرقامًا كبيرة جدًّا، وقد استخدمت بعض المواد المختارة من حفريات الصخور الطينية في إملائيات لب السد الطيني بعد إجراء المعالجات المطلوبة عليها، إضافة إلى ما تم الحصول عليه من مواد من مقالع الطين المختارة من حول منطقة السد وكما سبق ذكره. وتم استخدام كميات كبيرة أيضًا من مواد الحفريات في تنفيذ القدمتين الأمامية والخلفية للسد، إذ ليس هناك متطلبات خاصة في مواصفات هذه المواد.

أما المواد الحصوية والرملية لأغراض القشرتين الأمامية والخلفية والمرشحات، فقد استخرجت من مقالع المواد الرسوبية في مقدم منطقة السد، إضافة إلى مواد المملكات في مناطق مقدم السد أيضًا ومن بعض حفريات الأسس. وأخيرًا فإن التكسيات الحجرية قد استخدمت فيها المواد الحجرية من مقلع الحجر الكلسي الموجود على السفح الجنوبي من طية بطمة الشرقية في الجانب الأيمن.

وقد بلغت كميات الأعمال الترابية المستعملة في إملائيات السد أرقامًا كبيرة جدًّا وكما مبين في الجدول رقم (6).

جدول 5: مواصفات المواد المستعملة في القدمات والتكسيات

مكان الاستعمال	تصنيف المادة ومصدرها	مواصفات المادة وطريقة استعمالها
القدمات الأمامية والخلفية (Toe Weights)	مواد عشوائية من مواد حفريات الاسس واغلبها من الطفل	لا توجد مواصفة محددة انما يتطلب استبعاد الرمل المنتظم لتلافي احتمال حصول التمييع (Liquefaction) في حالات الهزات الأرضية
التكسية الحجرية الأمامية للحماية من الموج (Rip Rap) - لغاية منسوب (300) متر فوق سطح البحر	من صخور الجريبي الكلسية في حدبة وادي المالح في طية بطمة الشرقية في الضفة اليمنى	- الصخور الكلسية بوزن لغاية (1000) كيلوغرام
- فوق منسوب (300) لغاية منسوب (330) متر فوق سطح البحر		- الصخور الكلسية باوزان تزيد على (1000) كيلوغرام
الطبقة الفالقة في قمة السد		- تتراوح اوزان الصخور بين (0.5) طن و (10) طن
التكسية الحجرية الخلفية للحماية من الامطار		- الصخور الكلسية بأوزان تتراوح بين (5) كيلوغرام و(60) كيلوغرام

جدول 6: جدول بكميات المواد الترابية المختلفة المستعملة في السد الرئيسي والسد الثانوي

كميات الاعمال الترابية الكلية في السد الرئيسي والسد الثانوي	
اللب الاصم	6,010,800 m^3
القشرة الأمامية والقشرة الخلفية	19,879,400 m^3
القدمة الأمامية والقدمة الخلفية (Toe Weights)	6,374,500 m^3
بساط الصرف والمرشحات	4,371,500 m^3
التكسية الحجرية في المؤخر والتكسية الأمامية للحماية من الموج	967,200 m^3
المجموع الكلي	37, 683, 400 m^3

5 ـ تحويل مجرى النهر

تمت عملية تنفيذ السد بموجب برنامج دقيق لتنفيذ الفقرات المختلفة مع مراعاة التسلسل المنطقي المطلوب لها. وقدم الاستشاري في مستندات العقد برنامجًا مقترحًا وأعطى المجال للمقاول لتعديله واستحصال موافقته عليه حيثما ارتأى ذلك ليتناسب مع امكانياته[2].

ومن أهم فقرات هذا المنهاج: مراحل تحويل مجرى النهر لغرض إمكانية بناء جسم السد في مجرى النهر بعد غلق هذا المجرى وتحويله من خلال أنفاق التحويل التي يتم إنشاؤها للغرض المذكور والتي سيجري تحويرها لاحقًا لتعمل كمنافذ سفلى للتفريغ السريع عند امتلاء الخزان وكلما دعت الحاجه لذلك.

وبالنظر لكون هذه العملية هي أخطر وأعقد مرحلة في عملية التنفيذ برمتها، فقد أعطيت المزيد من الاهتمام؛ فقدم المقاولون (GIMOD) في نيسان (1981) تقريرًا[3] اقترحوا فيه تعديلات مهمة على المنهاج الأصلي المعد من الاستشاريين بالنظر لحصول بعض التأخير بأعمال التحشية في الجانب الأيمن من مقطع النهر، وبنى المقاولون مقترحهم هذا على دراسة مفصلة أجريت على نموذج هيدروليكي أعد في معهد (LeichtweiB) في مدينة (Braunschweig) بألمانيا.

وقام مجلس الخبراء العالمي للسد بمناقشة الموضوع تفصيليًا في اجتماعه الثامن المنعقد في تشرين الأول (1981) ووافق عليه بعد أن كلف أحد أعضائه بزيارة المختبر والاطلاع على تفاصيل الفحوصات[4].

ويمكن خلاصة الخطة المعدلة بخمسة مراحل وهي كما يلي:

المرحلة الأولى: تمتد من حزيران (1981) لغاية آذار (1982): حيث يتم بناء السدة الواقية (Coffer Dam) رقم (1) لعزل النصف الأيمن من مجرى النهر وإمرار تصريف النهر من خلال النصف الأيسر من المجرى، ويسمح هذا بحفر الخندق

القاطع للسد وبناء رواق التحشية في الجزء الأيمن، كما يتم تنفيذ تحشية البطانة هنا ليتم بعد ذلك دفن اللب الأصم في الخندق إلى مستوى قعر النهر الأصلي.

المرحلة الثانية (وهي مرحلة وسطية): وتستمر هذه المرحلة من بداية نيسان (1982) لغاية نهاية أيار (1982): حيث يتم إعادة جريان النهر إلى كامل المجرى الأصلي لإمرار فيضان ربيع (1982).

المرحلة الثالثة: وتستمر من حزيران (1982) لغاية تشرين أول (1982): حيث يتم بناء السدة الواقية رقم (2) لعزل النصف الأيسر من مجرى النهر وتصريف مياه النهر من خلال الجانب الأيمن من المجرى. وفي هذه المرحلة يتم حفر الخندق القاطع للب في هذا الجزء وتنفيذ الجزء المتبقي من رواق التحشية الخرساني.

المرحلة الرابعة: وتستمر من تشرين الثاني (1982) لغاية أيار (1984): وفيها يتم تعلية السدة الواقية رقم (2) لكي يتم إنجاز أعمال رواق التحشية وإملائيات الخندق القاطع والاستمرار بالإملائيات في السد وتنفيذه إلى أعلى منسوب ممكن.

المرحلة الخامسة (وهي المرحلة الأكثر حراجة في عملية التحويل): حيث يتم تنفيذ السدة الواقية رقم (5) في المقدم والسدة الواقية رقم (6) في المؤخر. ويتم في هذه المرحلة تحويل النهر كليًا من خلال أنفاق التحويل، كما يتم إملاء جسم السد في الجزء الأيمن من مقطع النهر والصعود سريعًا به لتحقيق أعلى منسوب أمين للسد، يتفق مع ما سبق الوصول إليه في جسم السد في الجزء الأيسر من مقطع النهر قبل بداية سنة (1986)، كل ذلك من أجل إمرار الفيضان المتوقع في ربيع (1986) دون حصول طفح ووقوع كارثة بانهيار السد في هذا الجزء وانطلاق موجة فيضانية من المياه المخزونة. وفي هذه الفترة أيضًا يتم تحويل نفق التحويل الأول وجعله منفذ التفريغ الأول بتغير منسوب مأخذه ـ وحسب التصاميم الموضوعة ـ لكي يلي بعد ذلك تحوير نفق التحويل الثاني بالطريقة نفسها. وعليه، فإن مرحلة إملاء الخزان الحقيقية تبدأ فعلًا في الربع الأخير من عام (1985).

6 ـ أجهزة الاستشعار والتحسس

من الجدير بالذكر أيضًا أنه وعند تنفيذ السد الركامي فقد تم زرع عدد كبير من أجهزة الاستشعار والتحسس في جسم السد الرئيسي لقياس الانحرافات التي قد تحصل نتيجة للحركات التفاضلية للسد نفسه ككل، أو تلك الحاصلة بين مكوناته من المواد المختلفة وذلك من أجل التحقق من سلامة السد وسلوكه الطبيعي في حالات التشغيل المختلفة وتأثير عامل الزمن عليه.

شملت هذه الأجهزة عددًا من السلاسل من خلايا قياس الاستطالة (Extensometers) في مناسيب مختلفة في عدد من مقاطع السد متعامدة مع المحور وكذلك على الأكتاف بموازاة المحور. وهي جميعًا خلايا كهربائية، حيث تقرأ المتغيرات التي تسجلها عن طريق قابلوات تربطها بمحطة رصد خارج السد.

أما النوع الثاني من أجهزة قياس الحركة؛ فتتكون من أنابيب قياس الميل والهبوط لقياس الحركة الأفقية والعمودية في أي عمق باستخدام طوربيد خاص (Settlement/Inclinometers).

وقد توزعت هذه الأجهزة على شكل مجموعات بواقع ثلاثة أنابيب في كل مجموعة في المقاطع المختارة. وتزرع الأنابيب الثلاثة في المجموعة الواحدة بحيث يكون الأنبوب الأول على الخط الوسطي للب، والثاني على بعد 20 متر في المقدم، والثالث على بعد 35 متر في المؤخر من اللب.

وكان النوع الأخير من منظومات مراقبة الحركة هو تنفيذ شبكة من صبات الرواقم المساحية (Bench Marks) على قمة السد وعلى المسطبة الخلفية، وربط هذه النقاط بنقاط مساحية ثابتة خارج جسم السد من أجل إجراء المسح الجيودسي الدقيق لرصد أية إزاحات أفقية أو عمودية والتي قد تحصل للسد.

وبالإضافة إلى أجهزة قياس الحركة فقد كان هناك أيضًا خلايا لقياس تطور ضغط الماء المسامي في اللب الطيني (Pore Pressure Cells) للتأكد من تطور هذا الضغط في اللب خلال عمر السد، حيث يجب أن لا يتجاوز القيم المفترضة عند إعداد حسابات الاستقرارية للسد؛ حيث إن ازدياد هذا الضغط إلى درجة كبيرة يؤدي إلى التقليل من مقاومة القص (Shear Strength) للطين، وبالتالي يقلل من معاملات الأمان التي تم احتسابها عند التصميم.

ولا بد أيضًا ـ ولكي يكون هذا البحث متكاملًا ـ من التطرق إلى شرح معالجات الأسس التي جرت لزيادة رصانة السد ورفع مستويات الأمان إلى الدرجة المطلوبة، غير أن أهمية هذا الموضوع وسعته وما تفرع عنه من مشاكل ومعالجات إضافية أدت إلى قيامنا بشرحه بصورة مسهبة في الفصل السادس.

الهوامش

(1) **Internal Erosion: Internal erosion** of soil particles from within a dam by water that seeps through the dam is one of the most common causes of failure of **levees** and **earth dams**. Internal **erosion** is especially dangerous because there may be no external evidence, that it is taking place. Usually a **sand boil** can be found, but the boil might be hidden under water. A dam may breach within a few hours after evidence of internal erosion becomes obvious. Internal erosion manifests by the migration of soil particles by **suffusion** or **piping.**
Piping is induced by regressive erosion of particles from downstream and towards the upstream line towards an outside environment until a continuous pipe is **Suffusion** is the migration of soil particles through the soil matrix.

(2) **Uplift pressures:** is the destabilizing upward force resulting from the buoyancy caused by water.

References / المصادر

[1] Mosul Dam Board of Experts. "Security Measures of Mosul Dam". Report of Meeting No.6. Appendices 2, 7. March. 1980.

[2] Swiss Consultants Consortium. "Mosul Dam Contract, Vol.1, 2B,Part VII, Section 1.0.3 to section 1.01.5.1979.

[3] German-Italian Mosul Dam. JV. "Diversion of Tigris River During Construction. Report NO.1".Stuttgart, April 1981.

[4] Mosul Dam Board of Experts. "Diversion of the River". Report of the 8th meeting. Appendix E4.October 1981.

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/

الفصل الخامس

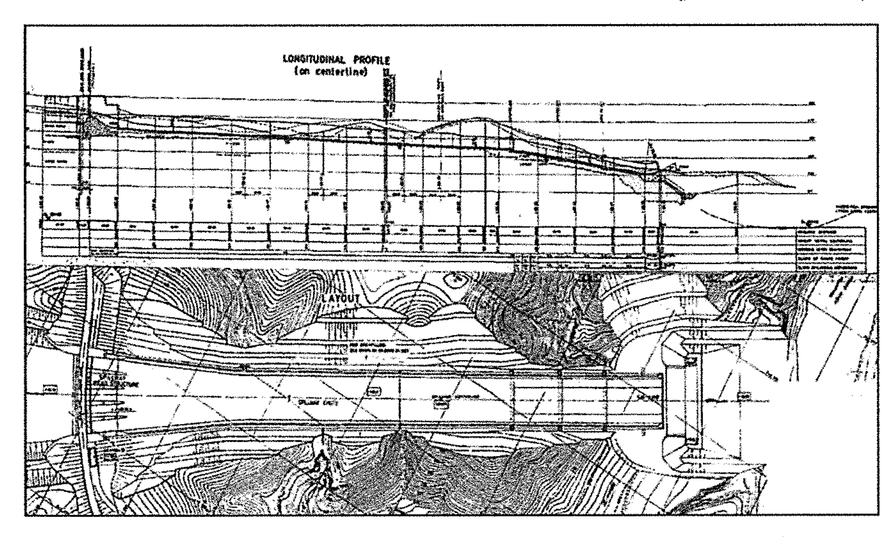
المنشآت الخرسانية[1][2]

1 ـ المسيل المائي (Spillway)(1)

المسيل المائي في سد الموصل حاله حال المسيلات الأخرى في السدود، يعمل على تمرير مياه الفيضانات الفائضة، وخاصة بعد الوصول بالخزن إلى المنسوب الأعلى التصميمي من أجل الحفاظ على سلامة السد من الطفح.

والمسيل في سد الموصل خرساني مبوب (Gated)، ذو هدار منحني (Ogee type)، ويمكن بواسطة المسيل التحكم بالمناسيب أيضًا ضمن المجال بين المنسوب الأعلى التشغيلي ومنسوب قمة الهدار.

ويقع المسيل المائي في سد الموصل بين السد الرئيسي الواقع على جانبه الأيمن والسد الثانوي الواقع على جانبه الأيسر بين المحطتين (878 + 1) و(778 + 1)، وكما مبين في الشكل (1) من الفصل الرابع. أما الشكل (1) أدناه فهو لمخطط أفقي لهذا المنشأ الكبير مع مقطع طولي له. ويمكن إيجاز بعض الصفات العامة لتصميم المسيل كما في الجدول (1).



شكل 1: مخطط أفقي للمنشا الرئيسي للمسيل المائي في سد الموصل، مع مقطع طولي له

جدول 1: بعض الصفات العامة في تصميم المنشا الراسي للمسيل في سد الموصل

يتكون المسيل من منشا السيطره الراسي الذي يحوي على هدار وخمسة فضاءات مبوبه تفصلها دعامات يلي ذلك قناة التصريف الخرسانيه واخيرا منشا المذب في المؤخر لتصريف المياه الى حوض التسكين الطبيعي	
نوع وعدد البوابات في منشا السيطره الراسي	خمسة بوابات شعاعيه مزوده باجهزة رفع هيدروليكيه
عرض البوابات	13.30 متر لكل منها
منسوب قمة الهدار	317.50 متر فوق مستوى سطح البحر
الضاغط المائي التصميمي على قمة الهدار	18.60 متر
منسوب الماء التصميمي فوق قمة الهدار	336.10 متر فوق مستوى سطح البحر

بالنظر لكون المسيل هو صمام الأمان الذي يعمل على تصريف مياه الفيضانات، فقد تم القيام بدراسة لتسليك تلك الفيضانات (Flood Routing)[2].

ويقصد بدراسة تسليك الفيضان: إيجاد مناسيب المياه المتحققة نتيجة لفيضانٍ ذو هيدروكراف (Hydrograph)[3] معرّفٍ وارد إلى الخزان (Inflow) في حالات تشغيلية مختلفة، آخذين بنظر الاعتبار احتمالات عطل بعض البوابات وعدم اشتغالها وما سينتج عن ذلك من مناسيب للخزان وتصاريف خارجة منه (Outflow).

وفي الجدول (2) خلاصة بالسيناريوهات المختلفة التي تمت دراستها مبينًا فيه المناسيب المتحققه في الخزان والتصاريف الناجمة عنها.

جدول 2: نتائج دراسة تسليك الفيضانات

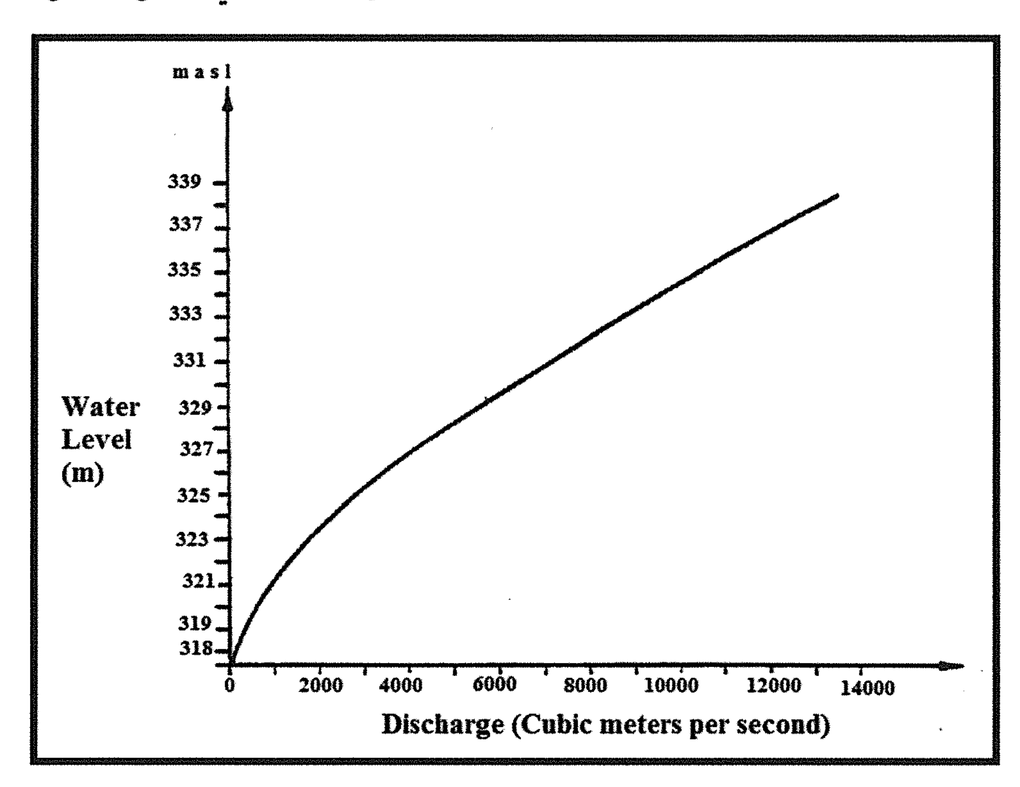
التصريف الداخل للخزان (متر مكعب بالثانيه)	عدد الابواب المفتوحه	منسوب الخزان المتحق (متر فوق مستوى سطح البحر)	التصريف الخارج من الخزان (متر مكعب بالثانيه)
فيضان 1:1000 سنه ويبلغ 12000متر مكعب بالثانيه	3	334.35	5650
فيضان 1:10000 سنه ويبلغ 15000 متر مكعب بالثانيه	4	334.65	7700
فيضان 1:10000 سنه ويبلغ 15000 متر مكعب بالثانيه	3	336.45	6700
الفيضان الاقصى المحتمل ويبلغ 27000 متر مكعب بالثانيه	5	337.85	12400
الفيضان الاقصى المحتمل ويبلغ 27000 متر مكعب بالثانيه	4 + المسيل الاضطراري	338.45	10600 من المسيل الرئيسي + 4000 من المسيل الاضطراري

من خلال الحسابات الهيدروليكية للتصاريف في مناسيب الخزن المختلفة فقد

أمكن أيضًا رسم منحنيات التصاريف عندما تكون الأبواب الخمسة مفتوحة، كما في الشكل (2)، أو عندما يكون هناك بوابة واحدة مفتوحة وبارتفاعات مختلفة تتراوح من (0,5) متر إلى (10) متر، كما في الشكل (3).

ويذكر بأنه قد تم إجراء فحوصات على النموذج الهيدروليكي لمنشأ المسيل للتأكد من صحة الحسابات وذلك في المختبرات الهيدروليكية للمعهد الفدرالي الفني في زوريخ (Federal Institute of Technology).

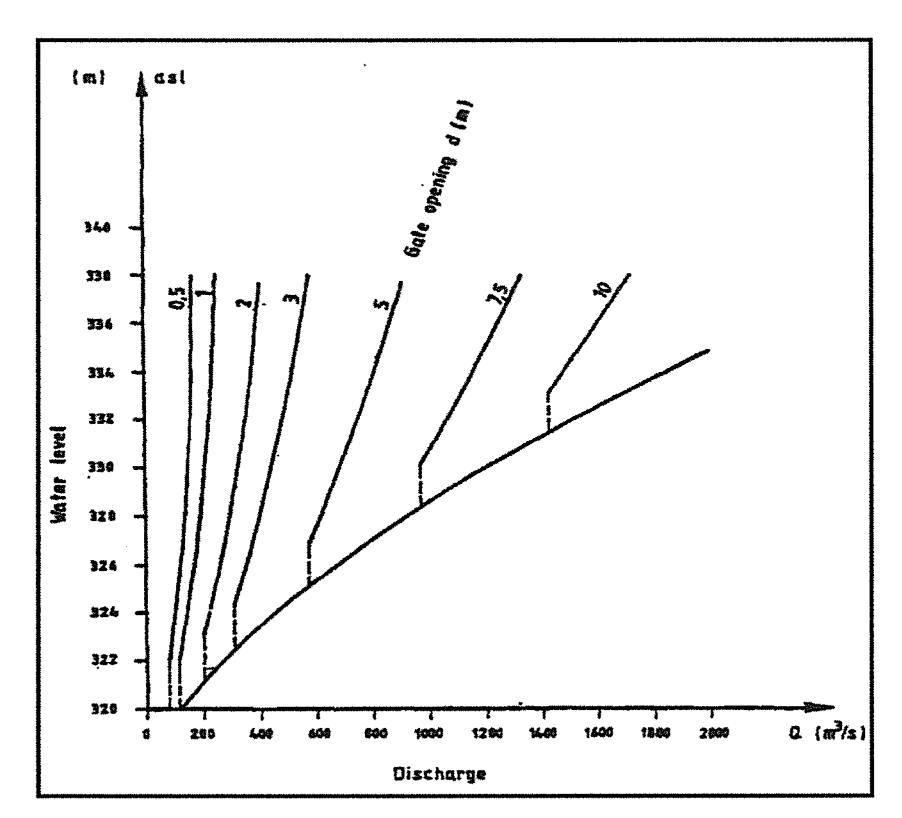
لذا يمكننا اعتبار هذه المنحنيات دقيقة وصحيحة ويمكن استعمالها في تشغيل المسيل.



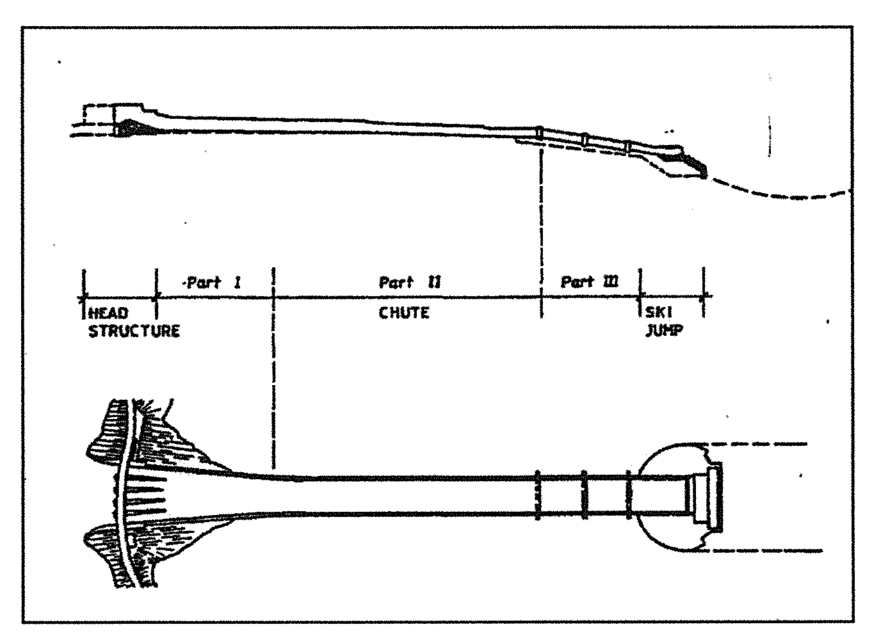
شكل 2: التصاريف المطلقة في المناسيب المختلفة والأبواب الخمسة مفتوحة بصورة كاملة

ولغرض إعطاء المزيد من التفاصيل عن هذا المنشأ الكبير والمهم، يمكن الرجوع إلى الشكل (4) وهو لمخطط أفقي ومقطع طولي يبيِّن أقسام المسيل بما في ذلك **قناة المدخل** (Approach Channel)، ثم **القسم الرأسي المبوب** (Head Work Structure) المؤدي إلى قناة التصريف (Chute)، وأخيرًا **منشأ المذب القاذف** (Ski Jump) في المؤخر الذي يعمل على تشتيت طاقة الجريان قبل اندفاعه إلى حوض التسكين الطبيعي (Plunge Pool) في المؤخر.

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/



شكل 3: التصاريف المطلقة في المناسيب المختلفة من بوابة واحدة بفتحات مختلفة



شكل 4: مخطط لمقطع شاقولي لمنشا المسيل (في الأعلى) ومسقط أفقي (في الأسفل)

* قناة المدخل:

تقع في مقدم المسيل وتسمح بانسياب المياه بصورة منتظمة نحوه، وقد حفرت بانحدار حوالي (1%) باتجاه الخزان، أما الجوانب فمحفورة بانحدارات جانبية ذات ميل (2 أفقي إلى واحد عمودي) ثم مسطبة بمنسوب (320,00) متر، أما منسوب القعر فيبلغ (310,00) متر، وإن أقلَّ عرضٍ لها يبلغ في القاعدة (151,00) مترًا، وطولها بحدود (450,00) مترًا باتجاه الأمام.

* منشأ السيطرة الرأسي (Head Structure):

يتكون من منشأ خرساني كبير يضم خمسة فتحات مبوبة جالسة على هدار (Weir)[4] وله جداران جانبيان يكوّنان منطقتي الاتصال مع السد الرئيسي والسد الثانوي. وقد روعي في تصميم الهدار أن يكون من النوع المقوس (Ogee)[5].

وهناك جسر للطريق فوق المنشأ لاستمرارية المرور على قمة السد.

كما أن هناك أيضًا بموازاة الجسر روافد طولية ممتدة على الفتحات الخمسه مكونةً مسارًا لسكة الرافعة الجسرية (Gantry Crane) التي تستعمل لإنزال ألواح الغمي (Stop Logs)[6] عندما يراد غلق أي من تلك الفتحات لأغراض صيانة البوابات، وتمتد السكة المذكورة إلى ساحة فوق السد الثانوي تستعمل لخزن ألواح الغمي المذكورة.

ولا بد لنا من أن نذكر بأن هناك أيضًا رواق للتحشية (Grouting Gallery) في أسفل القاعدة لإجراء عمليات التحشية في أساسات المنشأ، ويرتبط الرواق المذكور بنفق التحشية المكمل لرواق تحشية السد الرئيسي والذي سوف يلي وصفه عند التطرق إلى أعمال تحشية السد الرئيسي. ويمكن الوصول إلى رواق تحشية المنشأ الرأسي للمسيل بالإضافة إلى نفق التحشية بواسطة بئرين (Shafts) يخترقان الحائطين الجانبيين للمنشأ من الأعلى إلى الأسفل.

ويذكر أن أساسات منشأ السيطرة الرأسي تقع جزئيًا على حجر الكلس نوع (F-Bed) كثيرة التشققات والفواصل، وكذلك جزئيًا على صخور المارل الأسفل، بعد حفر أن تم قلع صخور المارل الأعلى.

وقد روعي في معالجات الأسس استبدال صخور المارل الأعلى تمامًا بطبقة من الرولّكريت (Rollecrete)[7] وبعمق ستة أمتار، وسوف يتم التطرق إلى معالجات الأسس بالتحشية في الفصل الخاص بأعمال معالجة الأسس.

* قناة التصريف:

إن مقطع قناة التصريف (Chute) الواقعة في مؤخر منشأ السيطرة الرأسي يكون مستطيل الشكل ومسقطه الأفقي بشكل بوق في جزئه الأول الذي يقل عرضه تدريجيًّا ويؤدي إلى القسم الثاني ذو العرض الثابت (راجع الشكل 4)، ويمتلك هذان الجزءان انحدارًا منتظمًا مقداره (3%)، ثم يلي بعد ذلك الجزء الثالث ذو الانحدار الحاد والبالغ (16%).

وبالنظر لتزايد سرعة التيار في هذا الجزء بدرجة كبيرة، فقد أضيفت في أرضية القناة ثلاث صفوف عرضية من شبابيك التهوية (Aerators) بشكل عتبات شاقولية مستعرضة على مجرى القناة لتلافي حصول تأكل الخرسانة (Cavitations)[8].

وتعمل منظومات التهوية على سحب الهواء وتهوية الجريان من أجل تقليل السرعة الزائدة إلى ما دون السرعة الحرجة وتقليل مخاطر التكهف في سطح خرسانة الأرضية والحيلولة دون تآكلها.

وتبلغ المسافة البينية بين منظومة وأخرى (60) مترًا، كما يتم الدخول إلى داخل المنظومة الواحدة من فتحة تقع على قمة الجدار الجانبي للقناة وبأبعاد (2.5m x 3.0m) وتؤدي هذه الفتحة إلى بئر شاقولي ينزل إلى الأسفل، حيث يتصل برواق خرساني أبعاده (2.5m x 2.0m). كما يمتد الرواق تحت أرضية القناة ويكوّن جزءًا منها ويرتبط ببئر مماثل في الجدار الجانبي المقابل مما يؤدي إلى تكوّن مجرى هوائي مستمر خلال الرواق. ويحتوي الرواق على (25) فتحة شاقولية (شباك)، وأبعاد الفتحة الواحدة هي (1.0m x 0.64m). وتنفتح الشبابيك هذه على الجزء التالي من القناة التي يكون منسوب بدايته عند منسوب عتبة الشبابيك؛ أي: تكون أرضية القناة متدرجة عند منظومات التهوية.

وبالنظر لوجود منطقة ضغط منخفض عند نهاية المنظومة، فإن التيار يقوم بسحب الهواء من خلال الشبابيك وبالتالي تهوية الجريان وتخفيف السرعة الزائدة.

يبلغ طول قناة التصريف (679,90) مترًا مقاسًا على الخط الوسطي، كما أن أقصى عرض للقسم الأول يبلغ (79,42) مترًا، أما العرض الثابت لباقي الأقسام فيبلغ (50) مترًا.

وقد تم تصميم جدران القناة الجانبية كجدران ساندة ثقيلة تتدرج بالارتفاع على ثلاث مراحل بارتفاعات (16,00متر) و(14,00) مترًا و(12,00) مترًا، على التوالي.

أما أرضية القناة، فقد صممت بشكل شرائط طولية متجاورة ومستمرة على طول القناة بدون أية مفاصل عرضية. وتم صب طبقة من الخرسانة عالية النفاذية

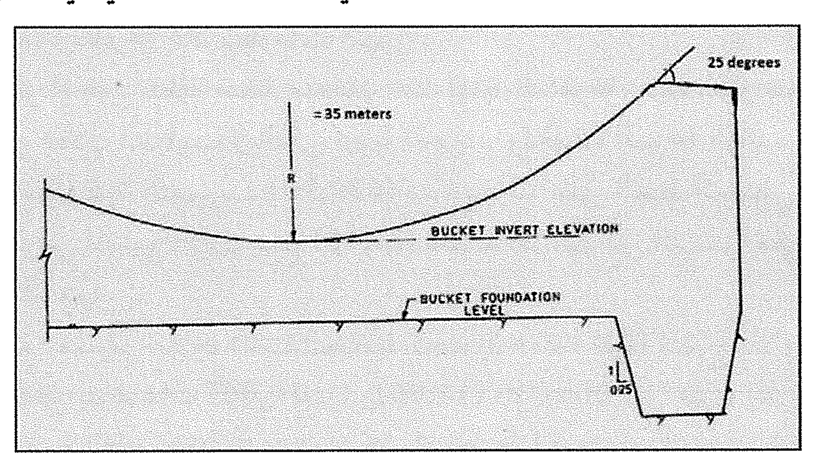
(Porous Concrete) تحت صبات الأرضية من أجل بزل المياه من تحت الأرضية بواسطة أنابيب خرسانية قطرها (30) سنتيمتر تجمع المياه الراشحة وتصرفها إلى أروقة للصرف في الجدران الساندة التي تصب بالتالي في مجرى النهر في نهاية المنشأ.

ولغرض مقاومة القوى الهيدروميكانيكية الاهتزازية الناجمة عن الانحدار الشديد لتيار الماء في القناة، فقد تم زرع مثبتات حديدية (Anchors) تربط صبات الأرضية إلى الصبقات الصخرية في الأسس المغروسة فيها، وذلك بمعدل مثبت واحد لكل أربع أمتار من مساحة الأرضية.

ولقد كانت حفريات الأساسات لقناة التصريف ـ في بعض الأجزاء ـ خلال صخور الطفل الأعلى، وفي أجزاء أخرى في الصخور الكلسية (F-Bed)، كما ظهرت في بعض الأجزاء طبقات من صخور الطفل الأسفل الحاوية في الكثير من الأحيان على طبقات من الأنهايدرايت وعديسات من الصخور الجبسية؛ لذا فقد تطلب الأمر حفر وإزالة كافة المواد المذكورة أعلاه وإبدالها بالرولكريت بمعدل سمك (6) متر.

* أما القسم الأخير من منشأ المسيل، فهو: **منشأ المذب (Ski Jump)**: الذي يعمل على قذف المياه الجارية نحو الأعلى مما يؤدي إلى تبديد الطاقة الحركية الزائدة للدفق المائي في الهواء قبل أن تصب في حوض التسكين (Plunge Pool) المحفور طبيعيًا بالصخور والمبطن جزئيًا بالرولكريت أيضًا.

ويتكون منشأ المذب ـ بموجب تصميم خاص ـ من صبة خرسانية تنحدر من قناة التصريف بانحدار زاوية مقدارها (30°) مع الأفق وتمتد هذه الصبة لتلتقي بمنشأ القاذفة (Flip Bucket)[9]، وهذا بدوره يكون بشكل قوس دائرة نصف قطرها (35) مترًا وزاوية قذف (Lip angle) مقدارها (25°) وكما في المخطط التوضيحي في شكل (5).



شكل 5: مخطط توضيحي عام لمنشا قاذفه

وقد ظهرت في حفريات الأسس لهذا المنشأ طبقات من الطفل الأسفل المتأثرة بالتجوية؛ مما تتطلب حفرها وقلعها لغاية منسوب (232.00) متر، وتم الاستعاضة عنها بمادة الرولكريت بعمق (31) متر؛ أي: لغاية أسفل المنشأ بمنسوب (261.00) مترًا فوق مستوى سطح البحر.

لقد بينت الفحوصات التي جرت على النموذج الهيدروليكي في زوريخ أن العمق المتوقع في حوض التسكين الطبيعي نتيجة للتآكل سوف يبلغ منسوب (240.00) مترًا فوق مستوى سطح البحر، وقد ارتؤي في التصاميم إملاء جزء من عمق الحوض بالرولكريت إلى منسوب (260.00) مترًا فوق مستو سطح البحر.

2 ـ المسيل الاضطراري (Emergency Spillway) أو سدة الأمان (Fuse Plug)

بالرجوع إلى الشكل (1) من الفصل الرابع، فإن المسيل الاضطراري يكون جزءًا من السد الثانوي (Saddle Dam)، وذلك بين المحطة (1+270) والمحطة (0+870)، ويعتبر هذا الموقع مناسبًا جدًّا وذلك لوجود منخفض طبيعي في مؤخره مما يساعد على انسياب المياه في المنخفض المذكور لتصب في نهر دجلة عند اشتغال المسيل المذكور.

إن الهدف من المسيل الاضطراري هو بأن يعمل كصمام أمان عند حصول الفيضان الأقصى المحتمل (PMF) وتزامن ذلك مع عطل إحدى بوابات المسيل الرئيسي وامتلاء الخزان إلى مناسيب خطيرة تهدد بانهياره بالكامل نتيجة للطفح فوق قمته، وبالتالي حصول كارثة كبرى لا يمكن التكهن بأبعادها. كما يمكن أن يعمل في حالة حصول موجة فيضانية كبيرة إذا ما انهار أحد السدود في أعالي النهر وتجاوزت مناسيب الخزان المناسيب الآمنة.

إن إضافة سعة جديدة للتصريف بواسطة المسيل الاضطراري (إضافة إلى سعة المسيل الرئيسي) يؤدي بالتأكيد إلى حصول فيضان كبير غير مسبوق في النهر، لكن هذا الفيضان سوف يكون أقل حجمًا وضررًا من حجم الموجة الفيضانية الهائلة التي قد تنطلق في حالة انهيار السد الرئيسي.

ويتألف المسيل الاضطراري (Emergency Spillway) من جزئين: **الأول**: خرساني على شكل هدار (Weir) يقع في الجزء الخلفي من المقطع، **والثاني**: ترابي في المقدم له تصميم مقطع السد الرئيسي نفسه مع وجود بعض التحويرات المطلوبة، وكما سيرد ذكرها لاحقًا. وقد أنشئ الجزء العلوي منه بين منسوب قمة

الهدار وقمة السد الترابي، بحيث يكون له قابلية للانجراف السريع عند ارتفاع المناسيب إلى المناسيب الخطرة، ويسمح ذلك باشتغال الهدار لتصريف المياه الزائدة.

أما الخصائص الهيدروليكية للمسيل الاضطراري فهي مدونة في الجدول (3).

جدول 3: الخصائص الهيدروليكية للمسيل الاضطراري بجزئيه الخرساني والترابي

التفاصيل	
الجزء الخرساني	
- النوع	- قوسي (Ogee)
- العرض	- 400 متر
- منسوب قمة الهدار	- 335.00 متر فوق مستوى سطح البحر
- منسوب الخزان في بدء الاشتغال	- 337.70 متر فوق مستوى سطح البحر
- طاقة التصريف	
بمنسوب 338.45	- 3600 متر مكعب بالثانيه
بمنسوب 338.70	- 4000 متر مكعب بالثانيه
- مادة الانشاء	- الرولكريت
الجزء الترابي	
- منسوب قمة السد	- 338.00 متر فوق مستوى سطح البحر
- عدد منظومات تحفيز الانجراف	- 9 مجاميع ، كل مجموعه تتكون من ثلاث انابيب
- عدد منظومات التفجير لتسريع الانجراف	- 4 صفوف ، كل صف يحتوي على 7 حفر للتفجير
- مادة الانشاء	- المواد الترابيه المرصوصه كما في السد الترابي

يكوّن الجزئان الخرساني والترابي في المسيل الاضطراري منشأً واحدًا مترابطًا، فبعد أن تم إنشاء الجزء الخرساني من (الرولكريت) جرى دفن الجزء الترابي مقدمه وبمواصفات السد الركامي نفسها ولغاية منسوب (335,00) مترًا باعتماد تصميم المقطع نفسه مع إدخال بعض التعديلات اللازمة في هذه الحالة. أما الجزء العلوي فوق هذا المنسوب، فقد صمم بطريقة تسهل إمكانية انجراف هذا الجزء عند وصول منسوب الخزان إلى منسوب الخطر وبالتالي انكشاف قمة الهدار وإمكانية عمله.

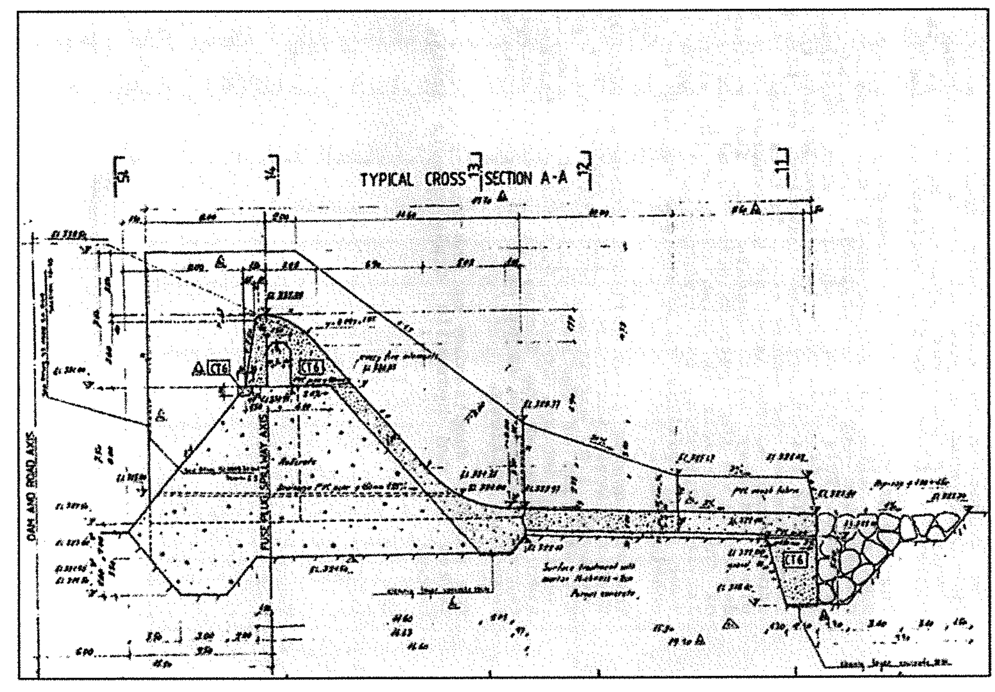
أما أساس اللب الطيني في القسم الترابي فيقع في جزئه الأيسر على طبقة المارل الأعلى ذات النفاذية القليلة، إلا أن جزئه الأيمن يقع على طبقة من المدملكات (الكونكلوميريت) ذات النفاذية العالية مما أدى إلى إضافة بطانة طينية (Clay Blanket) في مقدم قاعدة اللب لتغطية الكونكلوميريت في هذا الجزء مع وضع شريحة من المرشحات بعرض (2) متر وارتفاع (2) متر أيضًا في مؤخر اللب في منطقة تماسه مع جسم الهدار الخرساني لصرف مياه الرشح النافذة من طبقة المدملكات ويتم بزل هذه المياه من المرشح بواسطة أنابيب تخترق جسم الهدار نحو المؤخر.

إن تفاصيل المقطع الترابي فوق منسوب (335,00) مصممة بحيث يسهل انجرافه عند وصول منسوب الخزان إلى منسوب الخطر وكما سبق بيانه، ويمتد فيه اللب نحو الأعلى لغاية منسوب (337,20) مترًا ويصبح عرضه في القمة (3) أمتار فقط، بينما تتكون كل من القشرتين الأمامية والخلفية من الرمل والحصى المتوسط الحجم ليسهل انجرافهما.

وتم في هذا الجزء تجهيز منظومتين لتحفيز انجراف الجزء الترابي هذا، حيث تتكون الأولى من ثلاث مجاميع من قطع الأنابيب الخرسانية (ثلاثة أنابيب في كل مجموعة) بقطر (0,40) مترًا للأنبوب الواحد، ترتبط في المقدم بصناديق خرسانية مملوءة بالرمل، وتمتد الأنابيب على عرض المقطع حيث تقوم بتسريب المياه من المقدم إلى المؤخر لجرف المقطع عندما يصبح منسوب المياه (337,20).

أما المنظومة الثانية، فتتكون من أربع صفوف من ثقوب التفجير العمودية (Shafts) بقطر (0,80) مترًا لكل حفرة وبواقع (7) ثقوب في الصف الواحد وعمق (1,8) مترًا لكل منها، ويتم ملؤها بالمتفجرات عند الطلب لكي يتم تفجيرها للمساعدة في خلق فجوات تساعد المنظومة الأولى بتسريع الانجراف.

أما تفاصيل الهدار الخرساني فهي موضحة في الشكل (6).



شكل 6: مقطع عرضي يبين تفاصيل الهدار الخرساني وإلى يساره السد الترابي

ويذكر بأنه قد تم إجراء فحوصات النمذجة الهيدروليكية على المنشأ المذكور في مختبرات لوزان الهيدروليكية على نموذجين:

الأول: تناول معايرة منحنى تصريف الهدار ولدراسة الانجراف الترابي لمؤخر السد.

والثاني: لفحص آلية انجراف قمة السد الترابية للبدء بعمل الهدار، وكما سبق بيانه.

3 ـ منشأ المنفذين السفليين (Bottom Outlets)

يعتبر منشأ المنفذين السفليين صمام أمان آخر بالنسبة للسد، حيث يمكن بواسطتهما تخفيض منسوب الخزان تحت منسوب عتبة المسيل البالغ (317,50) مترًا فوق مستوى سطح البحر ولغاية منسوب (270,00) مترًا فوق مستوى سطح البحر، وهو منسوب الخزن الميت الذي سبق احتسابه على أساس كميات الرسوبيات المتوقع احتجازها خلال عمر السد التشغيلي الذي افترض بمائة سنة.

إن الحاجة لتفريغ الخزان تحت منسوب عتبة المسيل قد تكون أيضًا لغرض القيام بأعمال الصيانة التي تتطلب مثل هذه المناسيب الواطئة أو لأغراض أمنية في حالة تهديد سلامة السد.

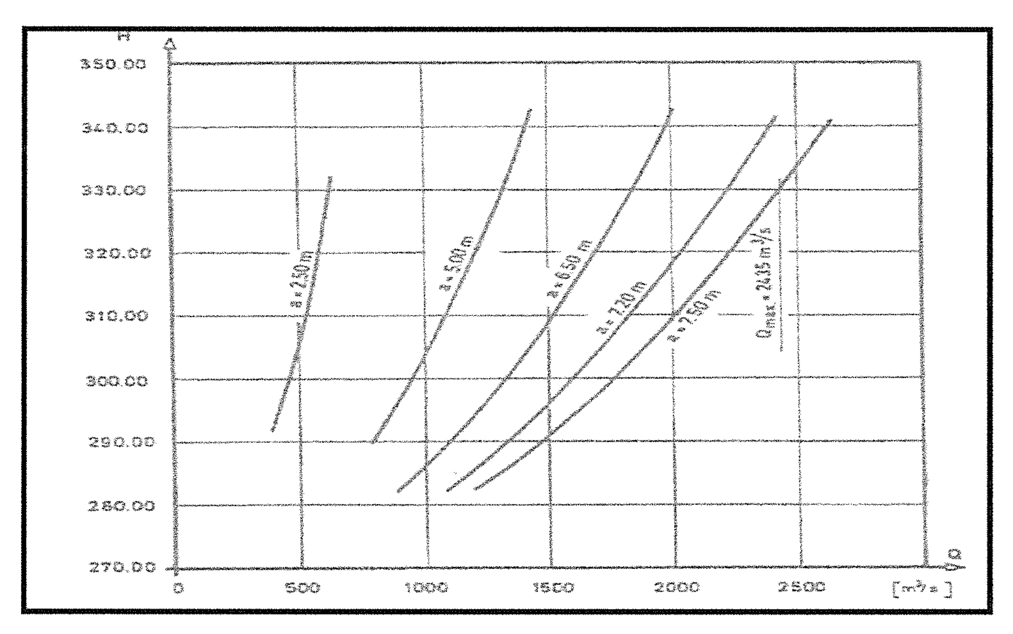
كما ويستخدم المنشأ المذكور أيضًا لتجهيز النهر بالكميات المطلوبة من مياه الري والاحتياجات الأخرى عند عدم إمكانية استعمال المسيل بالنظر لغلق البوابات كافة أو كون منسوب الخزان أوطأ من (217,5) كما ذكر سابقًا، حيث لا يمكن الركون إلى إطلاق المياه من خلال محطة التوليد وحدها لتذبذب تلك الإطلاقات حسب ضروريات التوليد.

وفي الجدول (4) تفاصيل المناسيب التشغيلية والتصاريف المطلقة من هذا المنشأ.

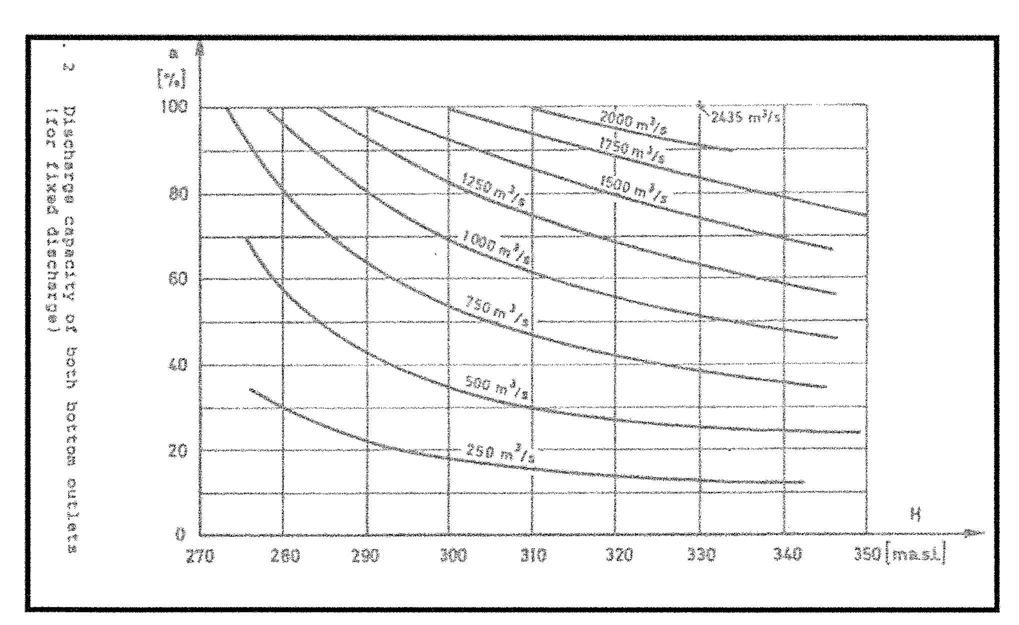
جدول 4: المناسيب والتصاريف التشغيلية لمنشا المنفذين السفليين

المناسيب والتصاريف	
المنسوب الفيضاني الاعلى (متر فوق مستوى سطح البحر)	335
المنسوب التشغيلي الاعلى (متر فوق مستوى سطح البحر)	330
المنسوب التشغيلي الادنى (متر فوق مستوى سطح البحر)	300
مجموع تصريف المنفذين في منسوب 330 (متر فوق سطح البحر)	2435 متر ^{3} / ثا
مجموع تصريف المنفين في منسوب 300 (متر فوق سطح البحر)	1770 متر ^{3}/ثا
تصاريف المنفذين بمناسيب مختلفه مع تغيير فتحتي البوابتين	راجع شكل (7A)
تصاريف المنفذين بمناسيب مختلفه مع تغيير فتحتي البوابتين بنسب منويه مختلفه	راجع شكل (7B)

وفي الشكلين (7A) و(7B) منحنيات التصاريف المطلقة من المنافذ السفلى في فتحات مختلفة للبوابات التنظيمية.



شكل 7A: التصاريف المطلقة من المنفذين السفليين باستعمال فتحات مختلفة لبوابيتهما وحسب مناسيب الخزان

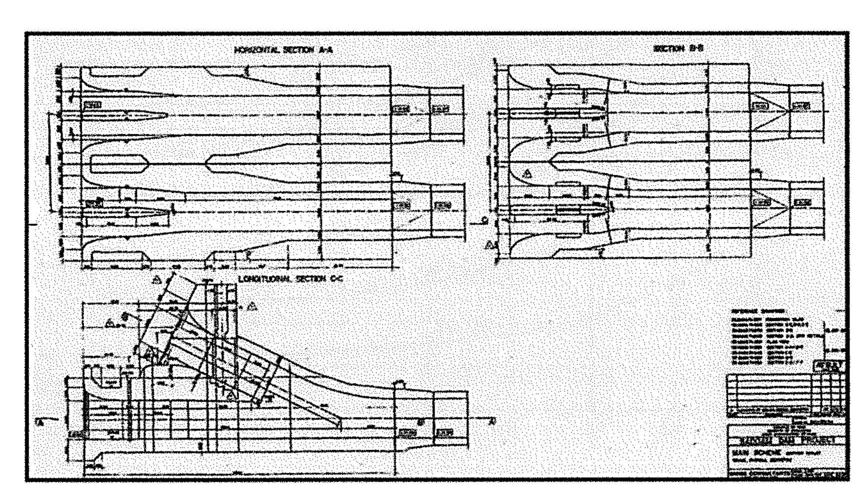


شكل 7B: التصاريف المطلقة من المنفذين السفليين باستعمال نسب مئوية مختلفة من فتحتي بوابتيهما وحسب مناسيب الخزان

ويتكون منشأ المنفذين السفليين من عدة أجزاء هي من المقدم إلى المؤخر وعلى التوالي: منشأ المدخل، البربخين الصندوقيين (Culverts)، برج البوابتين الحارستين، النفقتين الفولاذيين، منشأ المذب ومن ثم حوض التسكين الطبيعي المبطن بالرولكريت. أما منشأ المدخل أو المأخذ، فيتكون من هيكل خرساني (Intake Structure) ذو أربعة فتحات، اثنتان منها علويتان بمنسوب عتبة يبلغ (270,00) مترًا فوق مستوى سطح البحر وفتحتان سفليتان بمنسوب عتبة قدره (247,00) مترًا فوق مستوى سطح البحر. أما أبعاد كل فتحة من هذه الفتحات فهي (6) أمتار عرضًا و(12) مترًا ارتفاعًا. وتؤدي كل فتحة من الفتحتين العلويتين إلى مجرى صندوقي واحد منحدر نحو الأسفل بميل بانحدار (1,2) ويلتقي مع مسار النفق في الأسفل. ويبين الجدول (5) التفاصيل الفنية لمنشأ المدخل. كما يبين الشكل (8) تفاصيل المنشأ المذكور.

جدول 5: التفاصيل الفنية لمنشا المدخل

التفاصيل	
منسوب العتبه السفلى لنفقي التحويل (عند تحويل مجرى النهر) متر فوق مستوى سطح البحر	247
منسوب العتبه العليا للمنافذ (بعد تحوير المنشا الى منافذ للتفريغ) متر فوق مستوى سطح البحر	270
عدد الفتحات العليا	اثنتان لكل بربخ
عدد الفتحات السفلى	اثنتان لكل بربخ
ابعاد كافة الفتحات (عرض× ارتفاع) بالامتار	12×6 متر
ابعاد المنشا (طول × عرض × ارتفاع) بالامتار	52×60×96.48
عدد بوابات الغلق الوقتيه للفتحات العليا (Bulkheads)	4



شكل 8: تفاصيل في منشا المدخل.
في الأسفل مقطع طولي مبينًا الفتحات العليا والفتحات السفلى. وفي الأعلى (إلى اليسار) مقطع أفقي خلال الفتحات السفلى و(إلى اليمين) مقطع أفقي خلال الفتحات العليا

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/

وهنا تجدر الإشارة إلى أن الفتحات السفلى في منشأ المدخل قد استخدمت في إمرار التصاريف عند تحويل مجرى النهر وتم غلقها لاحقًا عند إملاء الخزان، حيث بقيت الفتحات العليا فقط لأغراض التفريغ.

ويمكن غلق الفتحات العليا بواسطة ألواح حديدية ثقيلة (Steel Bulkheads) تنزل في مزالقها (Guides) بواسطة استخدام طوافات (Barges) من أجل غلق المدخل وتفريغ المنشأ من الماء لأغراض الصيانة.

هذا، ويلي منشأ المدخل مسافة انتقالية يلتقي بعدها كل مجرى صندوقي في منشأ المدخل مع بربخ أفقي مناظر له في المسافة الانتقالية بين منشأ المدخل ومنشأ برج البوابات والتي تفضي إلى منطقة البوابات الحارسة (Guard Gate Chamber) في قاعدة هذا البرج وبواقع بوابة لكل بربخ. وفي الجدول (6) التفاصيل الفنية لهذه البرابخ.

جدول 6: التفاصيل الفنية للبرابخ في المنطقة الانتقالية

تفاصيل البرابخ في المنطقه الانتقاليه من منشا المدخل الى قاعة البوابات الحارسه في برج البوابات	
عدد البرابخ (Culverts)	2
قطر البربخ الواحد	12 متر
معدل انحدار المجرى	% 0.43
طول البربخ الايسر	239.34 متر
طول البربخ الايمن	247.33 متر
المسافه بين محوري البربخين	30 متر

أما بالنسبة لتفاصيل برج البوابات، فإن الجزء الأسفل منه يتكوَّن من حجرتين (Gate Chambers) لإنزال بوابة حارسة في كل منهما عند الغلق. وفائدة هاتين البوابتين هي لغلق المنافذ السفلى عند إجراء الصيانة على البوابتين الشعاعيتين التنظيميتين في المؤخر، وبذلك تتحمل هاتين البوابتين الضاغط المائي للخزان بأكمله عند الغلق، علمًا بأن كل بوابة هي بعرض (7) متر وارتفاع (10) متر.

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/

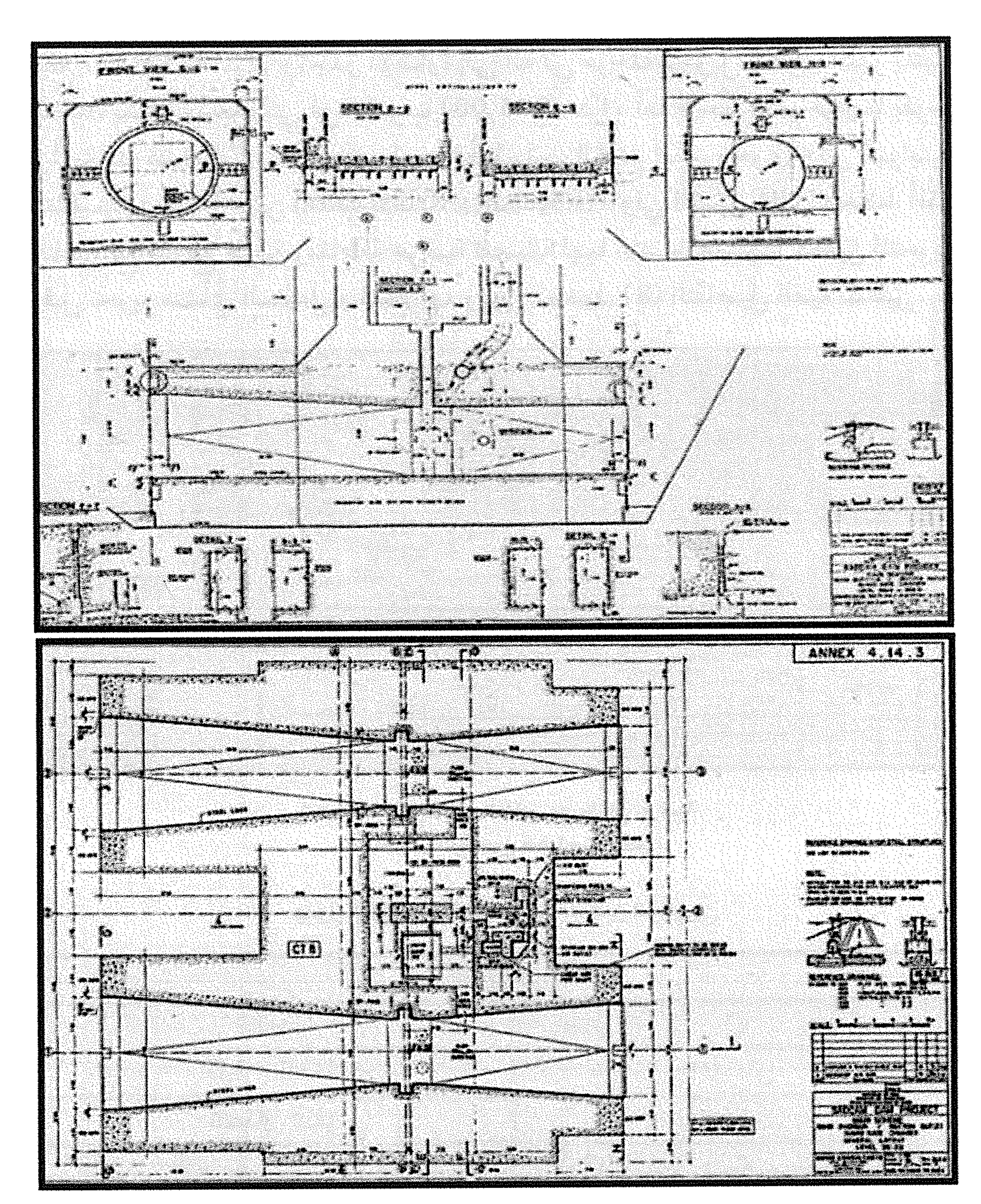
ويمكن رفع كل بوابة إلى حجرة علوية عند الفتح ويتم ذلك بواسطة أجهزة رفع هيدروليكية.

أما البرج، فيستمر نحو الأعلى إلى مستوى قمة السد، حيث تم نصب رافعة جسرية تستخدم لإنزال ورفع البوابات وملحقاتها سواء عند النصب أو لاحقًا عند ضرورات الصيانة. ويرتبط البرج من الأعلى مع قمة السد الترابي بجسر خرساني.

كما أن هناك مدخل عمودي (Shaft) ينزل من قمة البرج يمكن بواسطته النزول إلى الأسفل بواسطة سلم حديدي حلزوني وكذلك بواسطة مصعد كهربائي. وفي شكل (9) تفاصيل في قاعدة برج البوابات. وفي الجدول (7) كذلك تفاصيل فنية أخرى لبرج البوابات الحارسة.

جدول 7: تفاصيل برج البوابات الحارسة

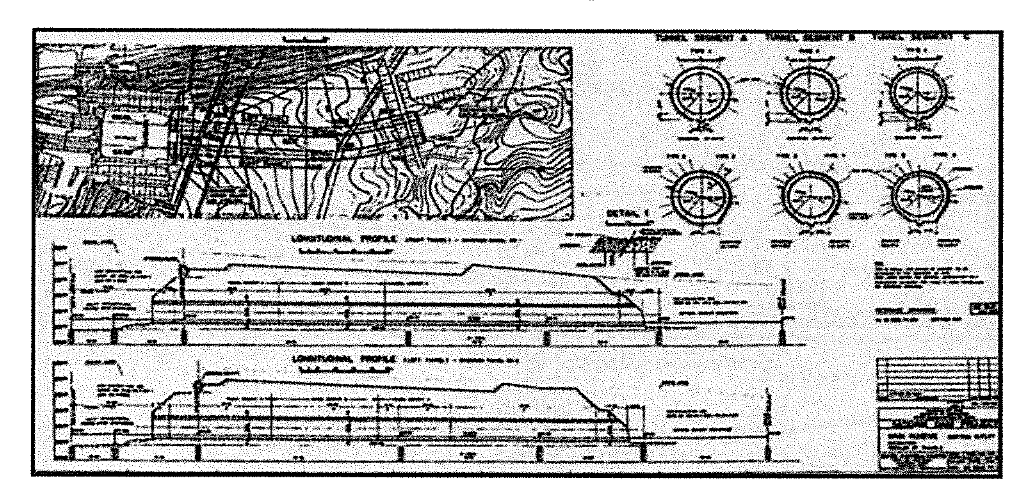
تفاصيل برج البوابات	
عدد البوابات الحارسه (Guard Gate)	2 واحده لكل منفذ
عدد حجرات البوابات في اسفل البرج	2 حجره واحده لكل بوابه
منسوب قاعدة البوابات	246 متر فوق مستوى سطح البحر
ابعاد فتحة كل بوابه	7 عرض× 10 ارتفاع بالامتار
قطر البرج	15 متر
منسوب قمة البرج	340.50 متر فوق منسوب سطح البحر



شكل 9: (في الأعلى) مقطع عمودي في قاعدة برج البوابات
(في الأسفل) مسقط أفقي في قاعدة برج البوابات مبينًا موقع البوابات الحارسة

يبدأ النفقان مباشرة بعد حجرتي البوابتين بعد مسافة انتقالية قصيرة يتحول فيها المقطع المستطيل الشكل إلى دائري بقطر (10) أمتار. ويكون النفقان مبطنين بالفولاذ ابتداءً من نهاية قاعة البوابات حتى البوابات التنظيمية، ويبلغ سمك البطانة الفولاذية (24) مليميتر، وهي مصممة لتتحمل ضاغط مائي لغاية منسوب خزان

يبلغ (336,30) مترًا. وتجدر الإشارة إلى أنه في مرحلة تحويل مجرى النهر ينتهي النفقان بمنشأ مذب وقتي في منسوب (245,00) مترًا، أما لاحقًا فيتم حرفهما بقوس بزاوية قدرها (20°) ليتم ربطهما بمنشأ المذب الدائم الذي يحوي على البوابتين التنظيميتين الشعاعيتين (Regulating Radial gates)، وفي الشكل (10) مخطط أفقي للنفقين مع مقاطع طولية ومقاطعة عرضية تفصيلية لهما عند استعمالهما كنفقين للتحويل وقبل تحوير منشأي المدخل والمخرج، ويبيّن الجدول (8) التفاصيل الفنية للنفقين.



شكل 10: مخطط افقي للنفقين مع مقاطع عرضية
وفي الأسفل المقطعين الطوليين للنفقين

جدول 8: التفاصيل الفنية لنفقي المنفذين السفليين

التفاصيل	
العدد	2
القطر الداخلي	10 متر
انحدار النفق	0.33 %
منسوب القعر في نهاية غرفة البوابه	246متر فوق مستوى سطح البحر
منسوب القعر في بداية منشا المذب	245 متر فوق مستوى سطح البحر
طول النفق الايسر	295.197 متر
طول النفق الايمن	304.721
سمك البطانه الفولاذيه	24 ملمتر

وفي نهاية النفقين يبدأ منشأ المذب الخرساني الذي صمم بمستويين بحيث يرتبط الجزء

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/

السفلي منه بالأنفاق في مرحلة تحويل مجرى النهر، ويتم غلق هذا الجزء لاحقًا بعد انتهاء هذه المرحلة ليتم الجريان عبر الجزء العلوي الحاوي على البوابتين التنظيميتين، وتبلغ أبعاد هاتين البوابتين (5 × 7,5) مترًا ومنسوب قاعدتهما (274) مترًا فوق مستوى سطح البحر (الشكل 11)، كما أن التفاصيل الفنية للمنشأ واردة في جدول (9).

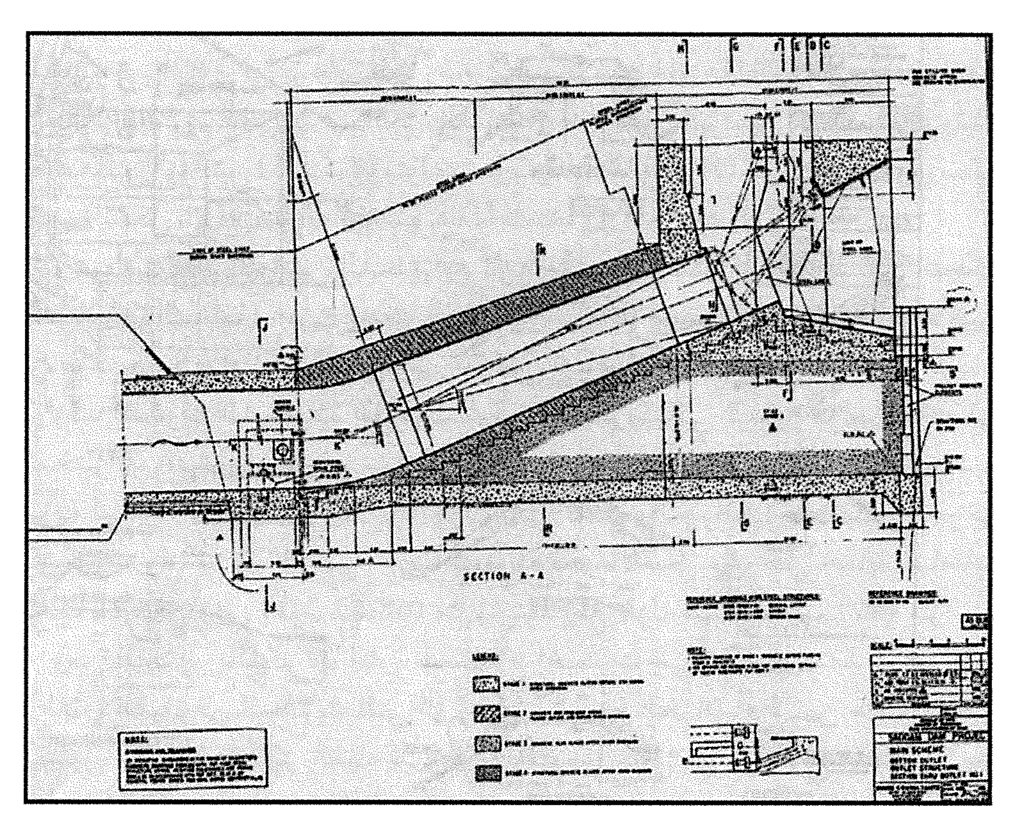
ويتم استخدام البوابتين الشعاعيتين التنظيميتين في منشأ المذب فيمكن التحكم بالتصاريف المطلقة، حيث يتدفق الماء بشكل نفاث نحو الأعلى فيتبدد جزءًا كبيرًا من طاقته في الهواء ليسقط بعدها في حوض التسكين.

وقد أظهرت التجارب على النموذج الهيدروليكي الذي جرى إعداده في المختبرات الهيدروليكية في معهد زوريخ التقني الفدرالي ضرورة تشغيل المنفذين سوية ليكون الدفق متماثلًا ولا يؤدي إلى تآكل وانجراف أحد جانبي حوض التسكين. وقد تم إضافة صبة خرسانية مائلة نحو الأسفل من أجل حماية أساسات المنشأ الأسفل وهي بطول (68,5) متر، بينما يبلغ طول منشأ المذب (69) مترًا.

ومن الجدير بالذكر أن إدارة المشروع اضطرت إلى تشغيل منفذ واحد فقط لإطلاق المياه في الحالات التي كان فيها منسوب الخزان أوطأ من منسوب عتبة المسيل من أجل تجهيز المياه للمؤخر ولحصول عطل في بوابة المنفذ الآخر منذ سنة (2013)، وقد أدى هذا الجريان غير المتماثل إلى حصول نحر قوي وخطر في الجانب المقابل من حوض التسكين واستمرت الحالة لغاية (2017) حيث تم تكليف إحدى الشركات العالمية بتصليح البوابة آنفة الذكر.

جدول 9: المعلومات الفنية لمنشا المذب

منشا المذب (**Outlet Structure**)	
عدد المخارج (**Outlets**)	2
عدد البوابلت التنظيميه (**Regulating gates**)	2
ابعاد كل فتحه من فتحتي البوابتين (العرض× الارتفاع)	5 متر× 7.5 م
منسوب قاعدة البوابتين	274 متر فوق مستوى سطح البحر
سرعة التيار القصوى المندفع من المخارج (عندما يكون منسوب الخزان 330 متر فوق مستوى سطح البحر)	32.5 متر / ثا
منسوب الفتحتين السفليتين عند استخدام المخارج السفلى في فترة تحويل النهر	245 متر فوق مستوى سطح البحر
طول المنشا ×عرضه	69.5 × 46 متر
طول الصبه المائله مؤخر منشا المذب	68.5 متر
عرض الصبه المائله مؤخر منشا المذب في الاعلى	46 متر
عرض الصبه المائله مؤخر منشا المذب في الا سفل	92 متر



الشكل 11: مقطع طولي في منشأ المذب

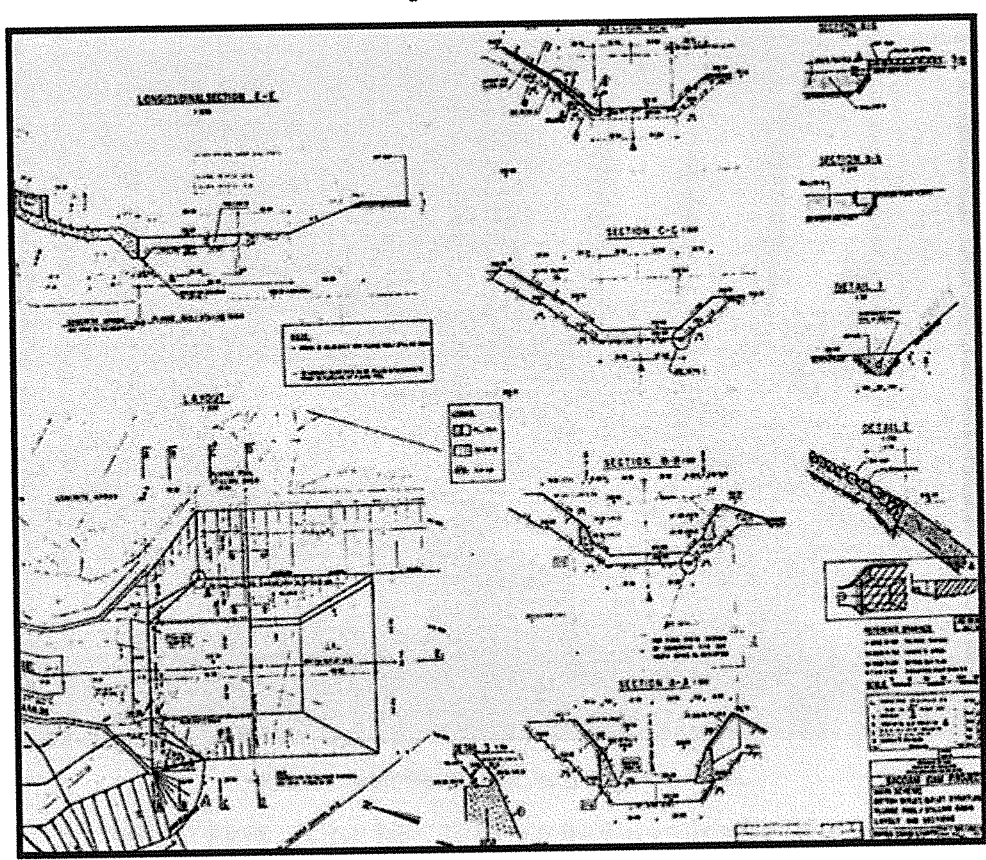
إن الجزء الأخير من منشأ المنفذين السفليين هو حوض التسكين الذي يقوم بتسكين التيار المنطلق منهما قبل وصوله إلى مجرى النهر. ولم تنحصر هذه الوظيفة بتبديد طاقة الجريان عند تشغيل المنفذين بعد اكتمال المشروع، بل سبق أن قام أيضًا بنفس العمل لتبديد طاقة الجريان من نفقي التحويل في مرحلة تحويل مجرى النهر. ويبلغ طول الحوض (132,7) مترًا ومنسوب أعمق نقطة فيه (231) مترًا فوق مستوى سطح البحر. وفي الشكل (12) تفاصيل هذا الحوض.

كما يبين الجدول (10) أبعاد ومناسيب هذا الحوض.

ولا بد أيضًا من التنويه بأن فحوصات النموذج الهيدروليكي قد بينت بأن عمق النحر يمكن أن يصل إلى منسوب (214)، ولتلافي القيام بالحفريات إلى هذا العمق فقد اكتفى الاستشاري بتحديد عمق الحفريات لغاية منسوب (226) مع إضافة طبقة من الخرسانة المحدولة (رولكريت) بثخن (5) متر ليصبح منسوب القعر (231) كما أسلفنا.

إن ما حصل بعد ذلك هو أن تسليك فيضان سنة (1988) العالي جدًا تم

باستخدام كل من المسيل والمنفذين السفليين معًا من أجل عدم السماح بارتفاع منسوب الخزان بصورة سريعة حيث لم يكن قد تمت تجربة سلوك السد الترابي بمناسيب الخزن العالية بعد، إلا أن تشغيل المنفذين السفليين وإطلاق تصاريف عالية خلالهما أدى إلى تدمير طبقة ألرولكريت وجرفها مما استدعى صب خرسانة جديدة تحت الماء باستعمال طريقة (أنبوب الترمي) (Tremi pipe method).



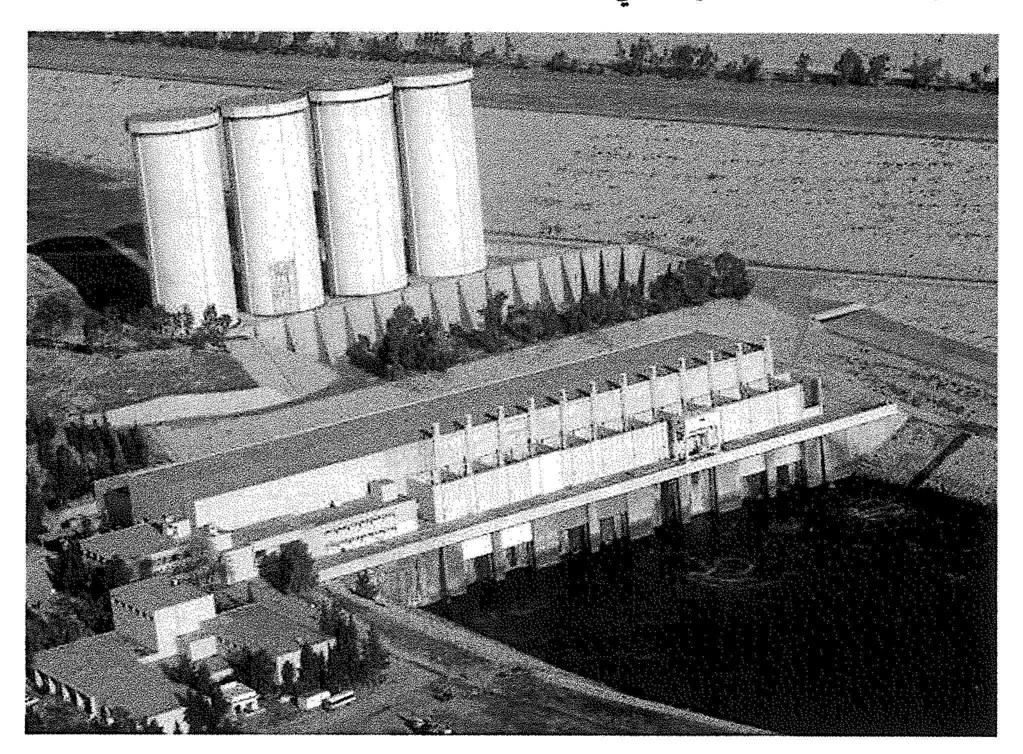
شكل 12: تفاصيل حوض التسكين مؤخر منشا المذب

جدول 10: أبعاد ومناسيب حوض التسكين

حوض التسكين (Plunge Pool)	
عرض الحوض في الاعلى	92 متر
عرض الحوض في الاسفل	45 متر
طول الحوض	132.7 متر
منسوب اعمق نقطه في الحوض	231متر فوق مستوى سطح البحر

4 ـ منظومة توليد الطاقة

وتشتمل على منافذ الطاقة في المقدم، تليها أنفاق الطاقة، ثم أبراج تخميد الطاقة (Surge Tanks) ومحطة التوليد نفسها، وأخيرًا قناة التصريف الخلفية (Tailrace Channel)، وفي الشكل (13) صورة لمحطة التوليد، حيث تظهر أبراج التخميد خلفها وقناة التصريف في مقدمة الصورة.



شكل 13: محطة التوليد وتظهر ابراج التخميد في المؤخر

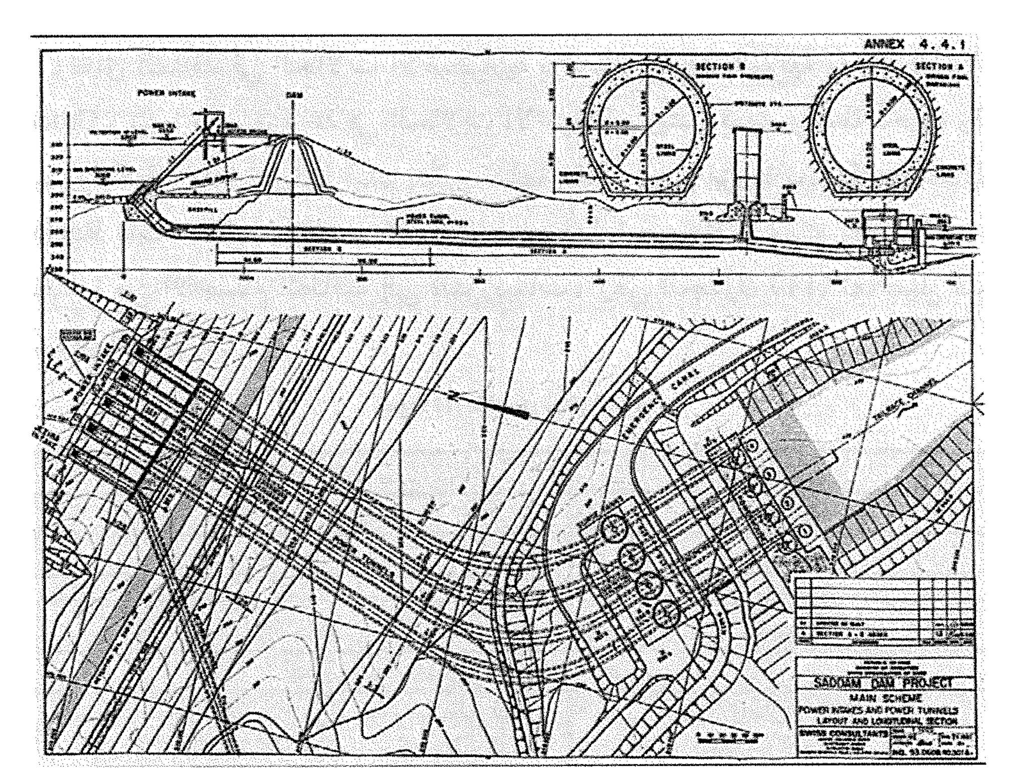
وفي الشكل (14) مخطط أفقي لمنظومة التوليد مبينًا كافة الأجزاء المذكورة أعلاه، إضافةً إلى مقطع طولي لأحد الأنفاق ومقطعين عرضيين في النفق المذكور.

وفيما يلي تفاصيل لكافة هذه الأجزاء:

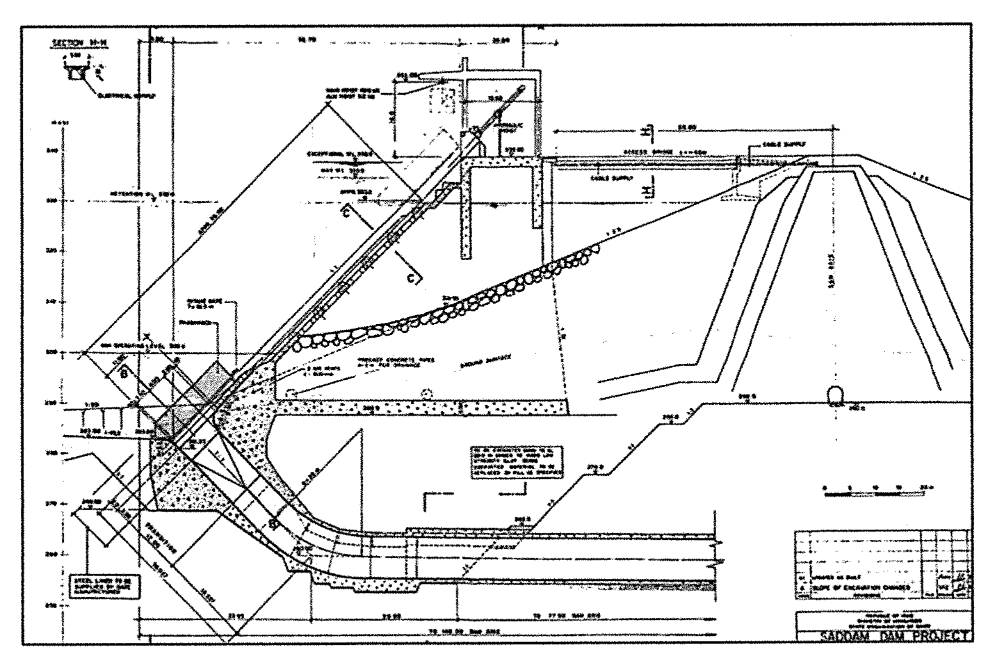
* منافذ الطاقة (Power Intakes):

تقع منافذ الطاقة الأربعة في المقدمة الأمامية للسد الركامي في الجانب الأيمن وتكوّن منشأ خرساني واحد، حيث يتدفق الماء من خلالها عبر أنفاق الطاقة إلى محطة التوليد وكما في الشكل (15) الذي يبين مقطع شاقولي في أحد المنافذ المذكورة.

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/



شكل 14: مخطط لمنظومة التوليد ومقطع طولي ومقاطع عرضية لأحد الأنفاق



شكل 15: مقطع في أحد منافذ الطاقة

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press /سحب ثالث/ سد الموصل/

وتغلق المنافذ في الحالات الاضطرارية بواسطة بوابات عمودية مدولبة (Wheel Gates)، بينما تبقى مرفوعة في الحالات الاعتيادية، ويتم رفعها بواسطة أجهزة رفع هيدروليكية، وأما تنزيلها فيتم بتأثير ثقلها فقط، وهي مزودة بمشبكات (Trash Racks) ذات شكل محدب ومقطعها نصف إهليلجي وتقوم بمنع دخول المواد الضارة من الأجسام الطافية إلى التوربينات، وفي الجدول (11) تفاصيل فنية للمنافذ المذكورة.

جدول 11: تفاصيل منافذ الطاقة

الموضوع	التفاصيل
مناسيب التشغيل	كما في جدول 4
عدد المنافذ	4
منسوب عتبات الفتحات للمنافذ الاربعه/ منسوب اعلى الفتحات	283/ 288.73 متر فوق مستوى سطح البحر
اعلى تصريف لكل منفذ وحسب منسوب الخزن	
بمنسوب تشغيل 335 متر فوق مستوى سطح البحر بمنسوب تشغيل 330 متر فوق مستوى سطح البحر بمنسوب تشغيل 322 متر فوق مستوى سطح البحر بمنسوب تشغيل 300 متر فوق مستوى سطح البحر	280 متر ^{3} / ثانيه 280متر ^{3} / ثانيه 260 متر ^{3} / ثانيه 210متر ^{3} / ثانيه
الابعاد الصافيه لفتحات البوابات	10.5 × 7 متر
اقل عمق مائي فوق منسوب عتبات الفتحات مطلوب لتشغيل المنافذ	11.27 متر

* أنفاق الطاقة (**Power Tunnels**):

نفذت أنفاق الطاقة بطريقة الحفر المفتوح في منطقة اتصالها مع المنافذ وكذلك من نقطة اتصالها بأبراج التخميد وحتى نقطة اتصالها مع محطة التوليد، وتتوازى مع بعضها في المسار، ويكون الجزء الأخير منها مقوسًا، وكما مبين في المخطط الأفقي في الشكل (14) الذي سبق ذكره، لذا فإن أطوالها تكون مختلفة كما تختلف انحداراتها وكما مبين في الجدول (12).

أما مناسيب التشغيل التصميمية وتصاريفها، فهي نفسها للمنافذ وكما مبينة في الجدول (11)، ويبلغ قطر النفق الداخلي (8) أمتار وسمك البطانة الفولاذية (23) ملمتر وهي مصممة لتتحمل قوة تعادل عمود ماء لغاية منسوب (410,70) متر فوق

مستوى سطح البحر، وذلك لتتحمل القوة الإضافية من الضربة المائية (Water Hammer) الناجمة عن توقف التوربينات الفجائي عند توقف التوليد لأي سبب كان (Shut Down).

جدول 12: أطوال وانحدارات انفاق الطاقة

النفق	الطول (متر)	الانحدار من منفذ الطاقه الى برج التخميد (%)	الانحدار من برج التخميد الى محطة التوليد(%)
1	650	9.6	12.29
2	6193	10.22	
3	587.9	10.92	
4	556.5	11.72	

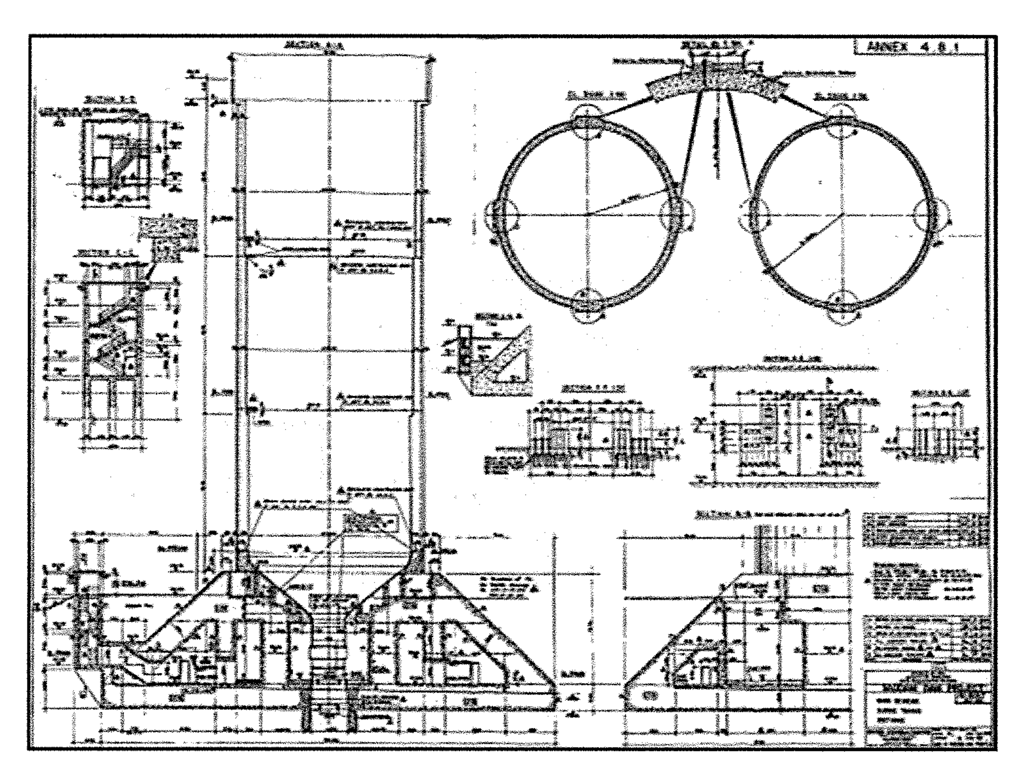
* أبراج التخميد (Surge Tanks):

يبلغ عدد أبراج التخميد أربعة، أي أن هناك برج واحد لكل نفق. ويقع البرج الواحد على مسافة (116) متر من محور التوربين المناظر له، والفائدة منه تخفيف آثار الضربة المائية على ذلك التوربين عند توقف التوليد المفاجىء.

يتكون كل برج تخميد من هيكل خرساني أسطواني الشكل يتحول إلى مخروطي في القاعدة، ويكون الجزء السفلي هذا مبطن بالفولاذ ويؤدي بدوره إلى عنق مستقيم لتثبيت صمام الفراشة (Butterfly Valve).

أما فائدة هذا الصمام فهي أنه يقوم بالغلق الأوتوماتيكي للفتحة السفلى للبرج في حالة تدميره لسبب ما، وبذلك يمنع تدفق مياه الخزان إلى الخارج عبر الثغرة الحاصلة، ويكون القطر الداخلي للبرج وسمك جداره متغيران حسب الارتفاع. ويوضح الشكل (16) مقطعًا عموديًا للبرج الواحد، وكما أن جدول (13) يلخص البيانات الفنية لهذه الأبراج.

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press /سحب ثالث/ سد الموصل/



شكل 16: مقطع في أحد أبراج التخميد

جدول 13: البيانات الفنية لأبراج التخميد

التفاصيل			
العدد	4		
ارتفاع البرج عن الاساس	**34.30** متر		
منسوب اعلى البرج	344 متر فوق مستوى سطح البحر		
تفاصيل الاجزاء (متر)	سمك الجدار	القطر الداخلي	القطر الخارجي(ثابت)
الجزء السفلي	1.20	19.4	
الجزء الوسطي	0.90	20.0	21.80
الجزء العلوي	0.60	20.6	
قطر العنق السفلي الداخلي(متر)	4		

* محطة توليد الطاقة:

تقع محطة توليد الطاقة في مقدمة السد الخلفية بالجانب الأيمن وذلك في نهاية أنفاق الطاقة، حيث ترتبط الأنفاق مع التوربينات من خلال مجاري فولاذية مجهزة بصمامات نوع الفراشة (Butterfly Valves). تتدفق المياه إلى داخل التوربينات لكي

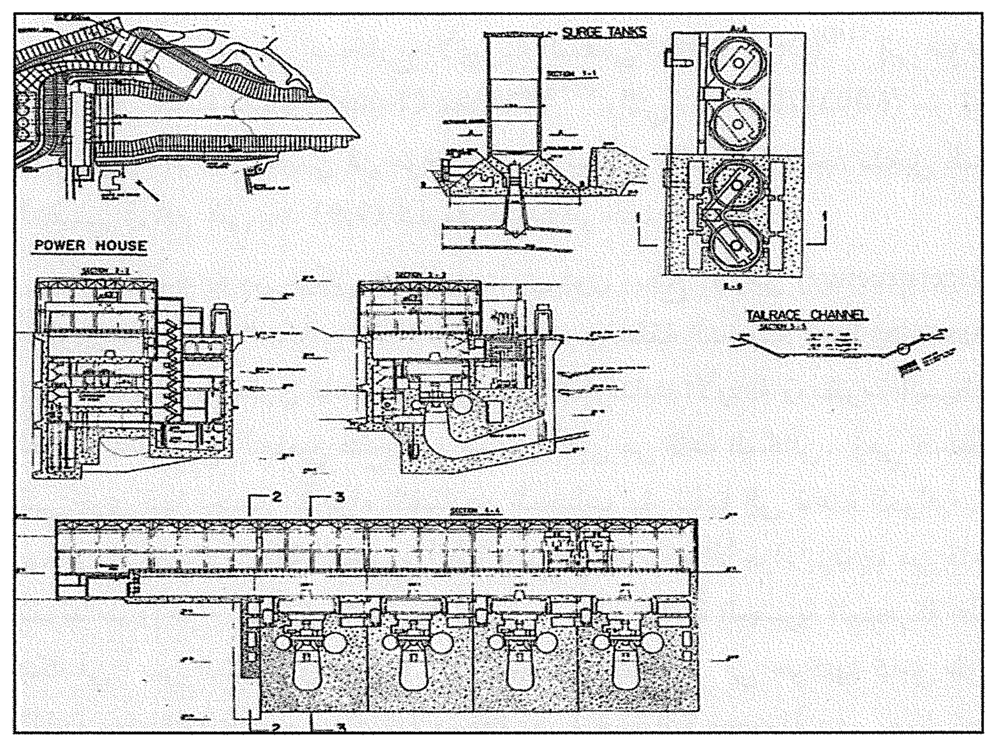
تدير البشارات ثم عبر المخارج الأنبوبية السفلى (Draft Tubes)[10] إلى مؤخر المحطة في القناة الذيلية (Tailrace Channel)[11] والتي تمتد مسافة (500) متر قبل أن تلتقي بالخزان التنظيمي في مؤخر السد الرئيسي، والمتكون نتيجة تشغيل السد التنظيمي الواقع على بعد (9,9) كيلومتر في مؤخر السد الرئيسي.

تتكون المحطة من هيكل خرساني علوي فوق سطح الأرض (Superstructure) يحتوي على قاعة المكائن (Assembly Hall)، ومنطقة التجميع (Assemlgy Bay) المتصلة بها. وتحتوي قاعة المكائن على المولدات الأربعة ومنظومة السيطرة القريبة. أما منطقة التجميع فتقع على مستوى أعلى من قاعة المكائن، وهي المنطقة التي جرى فيها تجميع الأجزاء الثقيلة من المعدات قبل نقلها إلى قاعدة المولدات، ويمكن استخدام منطقة التجميع أيضًا عند صيانة تلك الأجزاء برفعها من قاعة المولدات وإجراء الصيانة عليها بعد رفعها بواسطة الرافعة الجسرية المتحركة على سكة في أعلى البناية، وتغطي الرافعة الجسرية المذكورة في حركتها كامل طول القاعة ومنطقة التجميع. والبناية مسقفة بصبة خرسانية محمولة على جملونات فولاذية.

وتمتد البناية لتؤدي إلى بناية السيطرة (Control Building) الملاصقة لها وكما مبين في الجزء الأيسر من المقطع الطولي في أسفل الشكل (17).

أما الجزء السفلي من المحطة (Substructure)، فهو من الخرسانة أيضًا، ويقع تحت منسوب الأرض، ويحتوي على عدد من الطوابق، كما هو مبين في مقطعي المحطة في شكل (17)، حيث يظهر في المقطع العرضي أحد المخارج السفلى المرتبط في حافته العليا بتوربين، والذي بدوره يرتبط عموديًا من الأعلى بإحدى المولدات. ولقد صادفت حفريات أساسات هذا الجزء السلفي من بناية المحطة طبقة من المارل التي تتخللها عروق من الطين الضعيف مما اقتضى الحفر إلى أسفل الأساس وقلع هذه الطبقات وتعويضها بخرسانة الرولكريت. وفي الجدول (14) بعض البيانات العامة لمحطة التوليد.

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/



شكل 17: في الأعلى إلى اليسار: مسقط أفقي عام مبينًا المحطة والقناة الذيلية.
وإلى اليمين منه: أحد أبراج التخميد مع مخطط لقاعدة الأبراج الأربعة.
وفي الوسط: مقطعين عرضيين عموديين: الأول يمر في نهاية المنشا، والآخر يمر بأحد التوربنات، وكذلك مقطع عرضي للقناة الذيلية.
أما في الأسفل: فهو لمقطع طولي عمودي في المحطة وبناية السيطرة الملاصقة لها

جدول 14: بيانات عامة عن محطة التوليد

الموضوع	التفاصيل
السعه الكليه للمحطه	750 ميكاواط
عدد التوربينات ونوعها	4 نوع فرانسيس عمودي
المسافه بين الوحدات	27 متر
العرض الكلي للجزء السفلي (**Substructure**)	50.80 متر
العرض الكلي للجزء العلوي (**Superstructure**)	30.60 متر
الطول الكلي للجزء العلوي (**Superstructure**)	162.95 متر
منسوب منطقة النصب والتحميل (**Erecting Bay**) في قاعة المكائن	276 متر فوق مستوى سطح البحر
منسوب ارضية المولدات في قاعة المكائن	متر فوق مستوى سطح البحر260.5

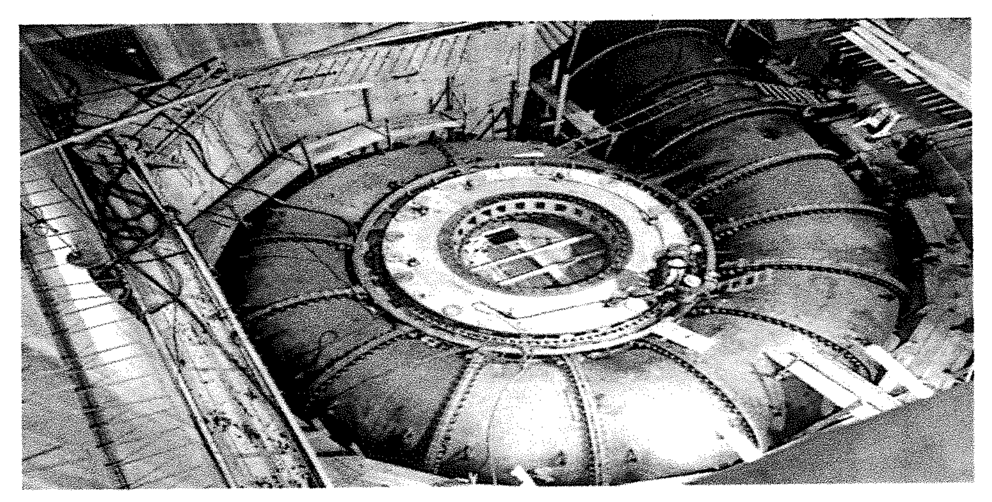
ولمعرفة المزيد من المعلومات الفنية عن التوربينات والمولدات يمكن الرجوع إلى الجدول (15).

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/

جدول 15: بعض التفاصيل الفنية للتوربينات والمولدات

التوربينات	
نوع التوربينلت	فرانسس
عدد التوربينات	**4**
الضاغط المائي الصافي المقرر (**Net Rated Head**)[12] في حالات التشغيل التاليه : 42.3 متر 66.4 متر 77.2 متر	التصاريف المقابله 211.8 متر³/ثا 260.9 متر³/ثا 283.4 متر³/ثا
القدره المقابله	77 ميكاواط 155 ميكاواط 193 ميكاواط
الضغط الاقصى للاجزاء المعرضه لضغط الماء	12 بار
منسوب الغلاف الحلزوني (**Spiral Casing**)[13]	247.5 متر فوق مستوى سطح البحر
- مناسيب المياه في مؤخر المحطه في حالات التشغيل - اوطا منسوب تشغيلي - اعلى منسوب تشغيلي - المنسوب التشغيلي في حالة فيضان (1:1000) سنه بعد تسليكه خارجا من الخزان (5700 متر³/ثا) - المنسوب التشغيلي عند تسليك الفيضان الاقصى المحتمل (15000 متر³/ثا	251.6 متر فوق مستوى سطح البحر 256.50 متر فوق مستوى سطح البحر 258 متر فوق مستوى سطح البحر 266.5 متر فوق مستوى سطح البحر
المولدات	
- قدرة المولدات	4 × 237 ام.في. اي
معامل القدره (**Power Factor**)	0.8
التردد التصميمي	50 هرتز
الانحراف بالتردد	%2.5 ±
الشركه المنتجه	**Toshiba**

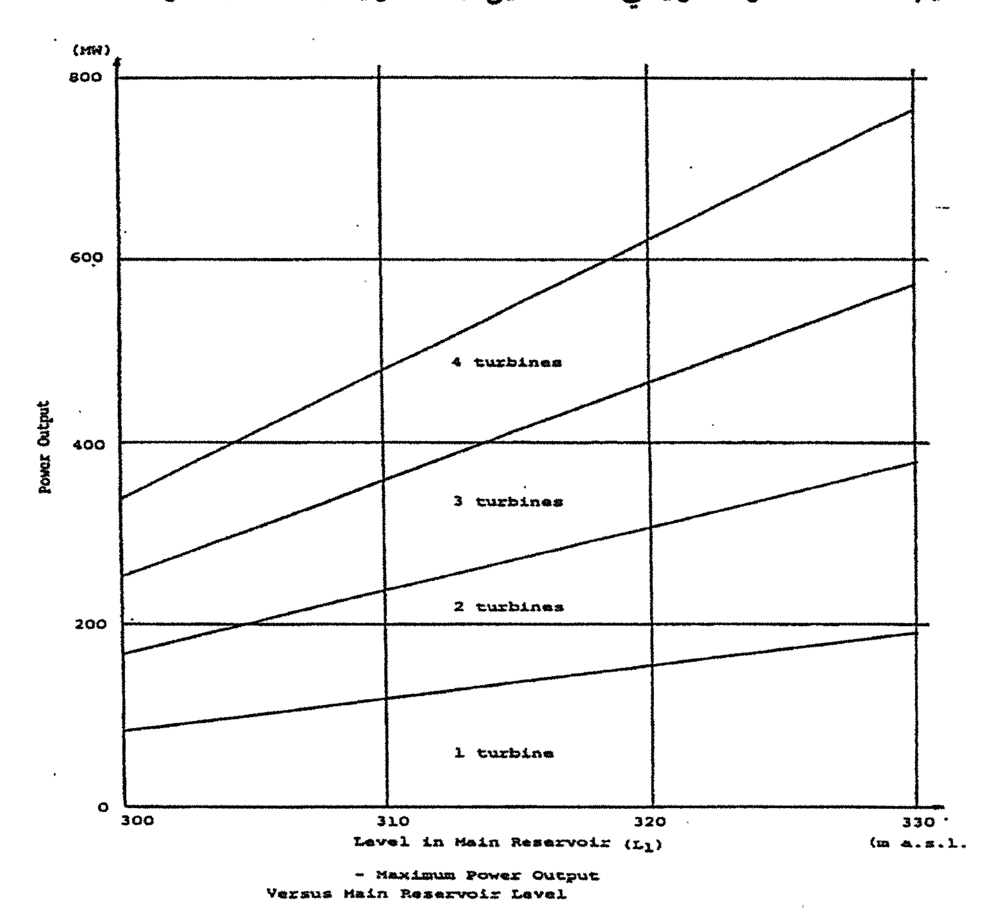
وفي الشكل (18) التالي صورة لأحد التوربينات عند النصب.



شكل 18: أحد التوربينات عند النصب يبدو فيه الغلاف الحلزوني الحديدي (Spiral Casing)

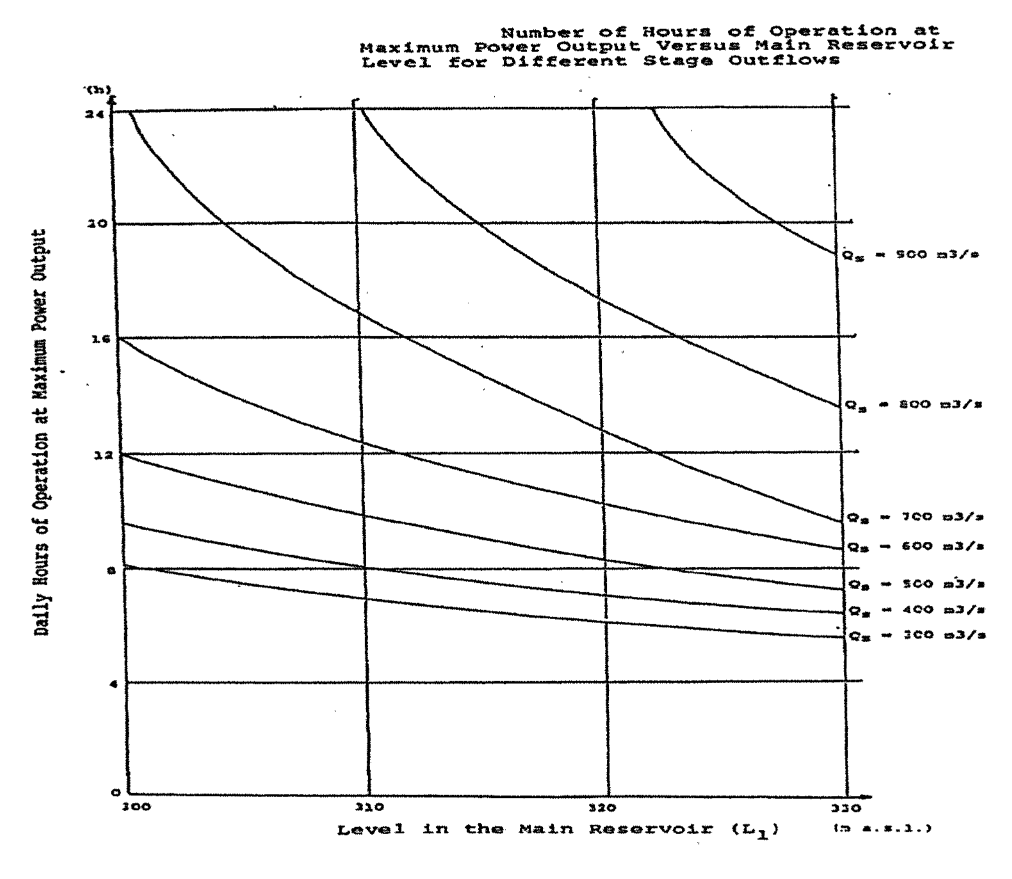
z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press /سد الموصل /سحب ثالث

إن القدرة القصوى التي يمكن أن توفرها وحدات التوليد في محطة السد الرئيسي تتقرر بناءً على منسوب الماء في الخزان الرئيسي، إضافةً إلى منسوب المياه في الخزان التنظيمي في مؤخر السد الرئيسي وعدد الوحدات التوليدية العاملة وما تطلقه من تصاريف. وتبين المنحنيات في الشكل (19) القدرة التي يمكن توفيرها في مناسيب مختلفة للخزان الرئيسي عند تشغيل وحدة توليد واحدة أو أكثر.



شكل 19: قدرة التوليد بمناسيب مختلفة للخزان الرئيسي عند تشغيل وحدة توليد واحدة أو اكثر

وكما هو معلوم فإن السد التنظيمي الواقع مؤخر السد الرئيسي بمسافة (9,9) كيلومترات يؤثر في مناسيب المياه مؤخر محطة التوليد الرئيسية، كما أنه ذو طاقة خزن محدودة مما يؤدي ذلك بدوره إلى تحديد ساعات التشغيل لهذه المحطة. لذا؛ فإن المنحنيات في الشكل (20) تبين ساعات تشغيل محطة التوليد الممكنة لتحقيق أقصى قدرة توليدية في مناسيب مختلفة للخزان الرئيسي وإطلاقات مياه مختلفة من المحطة المذكورة.



شكل 20: ساعات تشغيل محطة التوليد لتحقيق القدرة القصوى بمناسيب مختلفة للخزان الرئيسي

وهناك تفاصيل كثيرة أخرى عن منظومات الخدمات والتشغيل الساندة المتوفرة في المحطة، إضافةً إلى تفاصيل عن محطات تحويل القدرة والخطوط الناقلة، لا مجال لشرحها هنا.

5 ـ منشأ منفذ الجزيرة (Jazera Intake)

يقع مدخل منشأ الجزيرة إلى الجهة اليمنى من مدخل نفق الطاقة رقم (1)، وتبلغ المسافة بين محوريهما (24) مترًا، كما أنه هناك صبة (Platform) فوق سطحه متصلة مع الصبة المماثلة فوق مداخل الطاقة. يتكون المنشأ بالكامل من بدايته وحتى نهايته من مدخل نفق الطاقة، ثم نفق الجزيرة المبطن بالفولاذ الذي ينتهي بمنشأ محطة الضخ والتوليد الواقعة مؤخر السد الرئيسي، وقد تم تأجيل تنفيذ المحطة نفسها لحين تنفيذ القناة الرئيسية لمشروع ري الجزيرة الجنوبي.

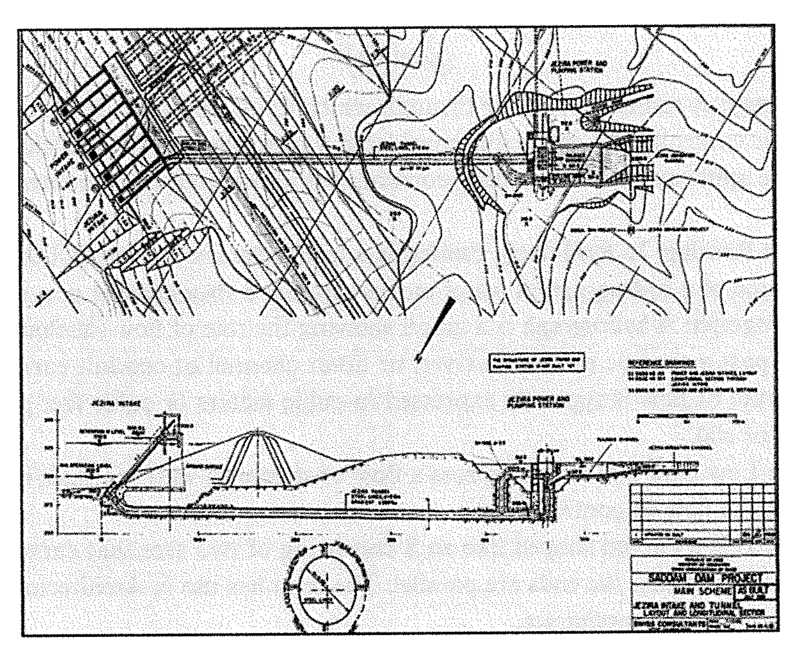
z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press /سد الموصل/ سحب ثالث

أما الجزء الوحيد المنفذ حاليًّا من المحطة المذكورة، فهو البئر الخرساني العمودي (Vertical Shaft) الذي يقع في نهاية النفق على مسافة (329,8) مترًا من بداية النفق، وهو بقطر خارجي يبلغ (11) متر بينما قطره الداخلي يساوي (5) أمتار، كما أنه مبطن بالفولاذ، وقد تم غلق فتحته العليا بغطاء حديدي تم لحامه مع قمة البطانة الفولاذية لغلقه تمامًا على أمل فتحة ثانية عند تنفيذ محطة (الضخ/ التوليد) لاحقًا لكي يستخدم كمنفذ للدخول والوصول إلى الأسفل من أجل أعمال تنفيذ المحطة المذكورة.

بموجب التصميم يستمر النفق بعد البئر العمودي لمسافة (23) مترًا أخرى يتفرع بعدها لكي يغذي وحدتَي (الضخ والتوليد).

أما القسم الآخر منه فإنه يعمل بمثابة تحويلة (Bypass) يغذي قناة مشروع الجزيرة الجنوبي عند عدم تشغيل المحطة. ويبين الشكل (21) المخطط الأفقي والمقطع الطولي في منشأ المنفذ المذكور موضحًا التفاصيل الكاملة للمنشأ عند اكتمال تنفيذه حال تنفيذ مشروع ري الجزيرة الجنوبي.

وفي جدول البيانات الفنية رقم (16) بعض التفاصيل المهمة لمنشأ منفذ الجزيرة من مناسيب وأبعاد وتصاريف، ويذكر أن منشأ المدخل للمنفذ المذكور مزود ببوابة مدولبة (Wheel gate) تسد الفتحة الأمامية التي تميل بزاوية (45°) عن الشاقول، وتكون هذه البوابة مفتوحة دائمًا في حالات التشغيل ولا تغلق إلا في حالات الطوارئ، ويتم تشغيلها بواسطة جهاز رافع هيدروليكي مسيطر عليه من داخل غرفة في قمة المنشأ. ويوجد أيضًا مقدم موقع البوابة مشبك (Trach Rack) لمنع دخول المواد الضارة إلى النفق ومن ثم منعها من الوصول إلى وحدات الضخ/التوليد وبطبيعة الحال فإن البوابة المذكورة مغلقة حاليًّا لعدم اكتمال المنفذ بشكل كامل.



شكل 21: مخطط افقي يوضح اجزاء منفذ الجزيرة مع مقطع طولي له

جدول 16: البيانات الفنية لمنشا منفذ ري الجزيرة

تفاصيل منشا منفذ ري الجزيره	
منشا المدخل	
العدد	1
المناسيب التشغيليه	كما في جدول رقم 4
منسوب عتبة المدخل	283 متر فوق مستوى سطح البحر
منسوب اساسات المدخل	273 متر فوق سطح الارض
ابعاد بوابة المدخل الارتفاع× العرض	9متر×6 متر
منسوب الصبه الاماميه في قمة المنشا (Upper Platform)	339 متر فوق مستوى سطح البحر
المسافه بين الخط الوسطي للمنشا والخط الوسطي لمنفذ الطاقه رقم 1	24 متر
المسافه الصافيه بين المنشاين اعلاه	11.5 متر
العمق الادنى لعمود الماء فوق فتحة المنفذ المطلوب للتشغيل	12.33 متر
النفق	
العدد	1
مناسيب التشغيل	كما في اعلاه
التصريف الادنى في النفق عندما يعمل انبوب التحويل (Bypass) بمنسوب خزان 321 متر فوق مستوى سطح البحر بمنسوب خزن 317.5 متر فوق مستوى سطح البحر	 170 متر ^{3} / ثا 140 متر ^{3} / ثا
التصريف الاقصى في النفق (عند تشغيل وحدتي الضخ / التوليد)	140 متر^3/ ثا
القطر الداخلي للنفق	6 متر
طول النفق	436.4 متر
انحدار النفق	% 9.59
ثخن البطانه الفولاذيه للنفق عدا اخر 68.5 متر منه ثخن البطانه الفولاذيه للنفق في اخر 68.5 متر منه ثخن انبوب التحويل (Bypass)	18 ملمتر 20 ملمتر 18 ملمتر

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/

الهوامش

(1) **Spillway:** A structure over or through which flood flows are discharged. If the flow is controlled by gates, it is considered a controlled spillway; if the elevation of the spillway crest is the only control, it is considered an uncontrolled spillway.

(2) **Flood Routing:** In **hydrology**, **routing** is a technique used to predict the changes in shape of a **hydrograph** as water moves through a **river channel** or a reservoir.

(3) **Hydrograph:** A **hydrograph** is a graph showing the rate of flow **(discharge)** versus time past a specific point in a river, or other channel or conduit carrying flow. The rate of flow is typically expressed in cubic meters or cubic feet per second (cms or cfs).

(4) **Weir:** Low dam that is built across a flow of stream of water to raise its level or, divert the flow or control it..

(5) **Ogee:** It is a curved shaped like an S consisting of two arcs that curve in opposite senses so that the ends are parallel. The term has use in Architecture, mathematics and fluid mechanics.

(6) **Stop logs:** are a hydraulic engineering control element that are used in **floodgates** to adjust the water level or **flow rate** in a **river**, canal, or **reservoir**. Stop logs are sometimes confused with flashboards, as both elements are used in bulkhead or crest gates. Stop logs are typically long rectangular **timber** beams or boards that are placed on top of each other and dropped into premade slots inside a **weir**, **gate**, or **channel**. Other materials, including steel and composites, can be used as stop logs as well. Stop logs are designed to cut off or stop flow through a conduit.

(7) **Rollecrete:** also known as Roller Compacted Concrete is defined by the ACI 116 as "concrete compacted by roller compaction i.e. Concrete that, in its unhardened state, will support a (vibratory) roller while being compacted. RCC is usually mixed using high-capacity continuous mixing or batching equipment, delivered with trucks or conveyors, and spread with one or more bulldozers in layers prior to compaction. RCC can use a broader range of materials than conventional concrete". For more details the reader is referred to USACE manual no. EC1110-2006/Roller-Compacted Concrete) and USBR publication/(Roller Compacted Concrete/Design and construction considerations for hydraulic structures).

(8) **Cavitations: Cavitations** may occur when local static pressure in a fluid reach a level below the vapor pressure of the liquid at the actual temperature due to high velocity. According **the Bernoulli Equation** this may happen when the fluid accelerates in a control valve or around a pump impeller or in a high velocity flow channel and it will cause damage to the contact surface as a result of the explosion of the formed bubbles.

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press /سحب ثالث/ سد الموصل

(9) **Flip Bucket and Ski jump:** Ski jumps in combination with plunge pools are widely used as an economic and effective type of energy dissipaters downstream of large dams. Ski jumps typically consist of an approach chute with a deflector at its end-the flip bucket-deflecting the discharge into the air. In this process, air is entrained into the jet reducing its scour potential during impact in the plunge pool. An inappropriate flip bucket design may result in a scour hole at the valley sides or close to the take-off section, endangering the stability of the valley sides or of the structure. An example includes the Nacimiento Dam, California, where a scour hole depth of tens of meters was observed after a flood in 1969. Despite hundreds of model studies conducted for specific prototypes, general guidelines were somehow incomplete when this research was launched in 2003. For more details the reader is referred to the Indian Standard (IS 7365-2010/ Criteria for hydraulic design of bucket type energy dissipaters).

(10) **Draft Tube:** The flared passage leading vertically from a water turbine to its tailrace.

(11) **Tailrace Channel:** the flume, or channel leading away from a waterwheel or the like.

(12) **Rated Head:** The rated condition is the operating point a pump or turbine is designed to operate at, and the primary condition at which operation is verified during a pump or turbine test.

(13) **Spiral Casing:** is a spiral passage for directing the water from penstock around a wheel turbine and into rotor.

References / المصادر

[1] Saddam Dam (Mosul Dam) Project Main Scheme-Final Report & As Built Drawings-Volume I. Swiss Consultants Consortium December, 1989.

[2] Saddam Dam (Mosul Dam) Project Main Scheme-Final Report & As Built Drawings-Volume IIA. Swiss Consultants Consortium December, 1988.

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press /سد الموصل /سحب ثالث

الفصل السادس

معالجات الأسس

1 ـ معالجات الأسس في أعمال السدود بصورة عامة

تحتاج معظم السدود إن لم نقل جميعها وبكافة أنواعها إلى معالجات للأسس من أجل جعلها صالحة لبناء أي سد عليها، وبينما تتراوح تلك المعالجات بين: أعمال بسيطة قد لا تتعدى قشط وإزالة التربة السطحية المتأثرة بعوامل المناخ والوصول إلى الطبقات الصخرية الصماء، أو القوية، إلى معالجات واسعة في غاية التنوع قد تمتد إلى أعماق كبيرة وحسب الطبيعة الجيولوجية للموقع.

إن الهدف من كافة المعالجات هو: زيادة استقرارية السد تجاه كافة الأحمال والظروف المتوقعة خلال العمر التشغيلي للسد. وبصورة أدق: جعل الأسس أكثر تجانسًا لتقليل الهبوط التفاضلي (Differential Settlement)[(1)] بين أجزاء السد، وتقليل إمكانية تشققه، ما تعمل على تقوية الأسس وزيادة قدرة تحملها (Bearing Capacity)[(2)] لتقليل الهبوط الكلي، ولا ننسى في هذا ضرورة تقليل رشح مياه الخزان من خلال الأسس إلى الحد الأدنى لتقليل الضائعات من جهة، ولتخفيف ضغط الأصعاد على قاعدة السد إلى أقصى حد ممكن من الجهة الأخرى، ولزيادة استقرارية السد تجاه الانزلاق، وكذلك منع حصول انجراف داخلي لدقائق تربة الأسس في موخره (Piping)[(3)] بتقليل ما يسمى بانحدار الإفلات (Exit Gadient)[(4)]، وفي مثل هذه الحالة قد لا يُكتفى بعمل خندق قاطع (Cutoff Trench) تحت اللب الأصم في السدود الركامية لزيادة طول خط الرشح، بل يتعدى الأمر إلى تنفيذ ستارة قاطعة أيضًا لتقليل الرشح وزيادة طول خط الرشح المذكور بصورة أكبر.

وفي بعض الأحيان، يتعدى الأمر إلى حفر آبار تنفيس (Relief Wells)[(5)] لبزل المياه الزائدة وتخفيف الضغط على القاعدة وبصورة منضبطة وأمينة. لذا، فإن المعالجات قد تمتد من الحفر والاكتفاء بإزالة الترب والصخور السطحية الهشة إلى استبدال تلك الصخور والترب بترب جيدة قابلة للرص كما في بعض السدود الترابية

الإملائية، أو استخدام الخرسانة (الرولكريت) كما في السدود الخرسانية أو حتى بعض السدود الإملائية.

وقد تشمل معالجات الأسس آنفة الذكر إجراء عمليات للتحشية والحقن (Foundation Grouting)[6] في الأسس، وهذه أيضًا قد تمتد إلى أعماق قليلة أو أعماق كبيرة جدًّا، حسب متطلبات التصميم والغاية المطلوبة من تلك الأعمال. وأعمال التحشية هذه بدورها قد تكون سطحية بقصد تقوية الأسس وزيادة تجانسها، وتسمى في هذه الحالة تحشية التقوية (Consolidation Grouting)[7]، أو لغرض تقليل نفاذية الأسس وتكون بشكل بساط (Grouting Blanket)[8]، أو بشكل ستارات تحشية عميقة (Grout Curtain) لتقليل كميات الرشح من خلالها وتقليل ضغط الأصعاد ومنع الوصول إلى انحدار الإفلات (Exit Gradient) في المؤخر، ونرى في بعض الحالات الاستعاضة عن ستارة التحشية العميقة بإنشاء جدار قاطع يسمى بالحاجز (Diaphragm) أو قد يسمى الجدار القاطع الموجب (Positive Cutoff) من الخرسانة أو الخرسانة اللدنة (Plastic Concrete) أو من البنتونايت. ويتقرر استعمال أي من بديلي ستارة التحشية أو الحاجز حسب الظروف الجيولوجية والكلفة الاقتصادية وتوفر المعدات اللازمة.

في الأحوال كافة، ربما يكون ذلك غير كافٍ فيتم إضافة بساط لصرف وبزل المياه الراشحة (Drainage Blanket) في الجزء الخلفي من مقطع السد نفسه وكما في السدود الإملائية أو حفر آبار التنفيس (Relief Wells) وكما في السدود الخرسانية وبعض السدود الإملائية أيضًا، كما تم بيانه سابقًا.

في أعمال سد الموصل، تم اللجوء إلى كافة هذه المعالجات عدا حفر آبار التنفيس؛ بالنظر لوجود بساط رشح سميك في الجزء الخلفي من قاعدة السد يعمل على بزل مياه الرشح الزائدة من الأسس، وفي الوقت نفسه يقوم بتصريف مياه الرشح الواردة إليه من خلال طبقتَي المرشحات الواقعتين خلف اللب الطيني، واللتان تقومان ببزل مياهِ الرشح من لب السد. وتم أيضًا إنشاء ستارة تحشية قاطعة عميقة ولم يستعمل الحاجز.

والأمر الأخير أصبح الآن مجال بحث وتمحيص، وذلك بالنظر لتطورات الحالة في أسس سد الموصل التي تعاني من الذوبان المستمر. وسوف يتم بحث هذا الموضوع بالتفصيل لاحقًا.

2 ـ أسس سد الموصل

تمتاز جيولوجية سد الموصل والمنطقة المحيطة بها بالتعقيد والتنوع الشديدين، كما سبق شرحه بالتفصيل في الفصل الثاني، وإن كافة الصخور المتكشفة والتحت سطحية هي ذات أصل رسوبي، وقد تكونت بفعل دورات متعاقبة ومتكررة من الترسيب وبعضها في بيئة تبخيرية عصر المايوسين.

لقد عانت هذه الصخور من التشوه والتشقق والتغيير بفعل الحركات التكتونية الإقليمية والمحلية مما أدى إلى حصول فوالق وتكوّن طيات مختلفة الأشكال والأحجام وتكشف الكثير من الصخور المترسبة سابقًا وتعرضها مجددًا لعوامل التعرية وجرف وترسيب مكوناتها إلى المنخفضات والوديان والأنهار، ولا يمكن أن ننسى أيضًا عوامل التجوية القاسية من أمطار ودرجات حرارة متفاوتة ومن حركة المياه الجوفية التي أثرت في العمق وأدت إلى حصول ذوبان في الصخور الكلسية وخاصةً في الصخور الجبسية، إضافة إلى التحولات الكيميائية في بعض من تلك الصخور وخاصة صخور الأنهايدرايت والصخور الجبسية. فمن المعلوم أن تميه (Hydration)[9] صخور الأنهايدرايت بالماء وتحولها إلى الصخور الجبسية يؤدي إلى انتفاخها (Swelling) وحصول تمدد حجمي كبير، وبالتالي توليد ضغوط إضافية على ما جاورها من طبقات والتسبب بتشققها أو حتى تفتيتها، كما الحال بتركيب صخور (F-bed) في الجانب الأيسر من السد بسبب تميه وتحول صخور الأنهايدرايت تحتها.

لذا؛ يمكن القول بأن كافة الطبقات والتراكيب الجيولوجية في سد الموصل تعاني من التكسرات الكبيرة (Fractures)، والدقيقة (Micro-fractures)، والفواصل (Joints)، والتشققات (Cracks)، وهي بالتالي عالية النفاذية مما أدى ذلك ولا يزال يؤدي إلى سريان المياه الجوفية من خلالها بيسر وبصورة مستمرة مسببةً المزيد من الذوبان والتكهف في الصخور الكلسية والجبسية، مع ما يصاحب ذلك من انجراف في دقائق الصخور ذات الأصل الطيني مثل طبقات الطفل، وبالتالي تكوُّن مزيج خليطي هش.

إن استمرار حركة المياه الأرضية قد أدى أيضًا إلى تفاقم ذوبان الصخور الكلسية والجبسية وأدى إلى المزيد من التكهف (Karsifications) وظهور الخسفات الأرضية (Sinkholes) المتعددة في المنطقة بسبب تهدم التكهفات القريبة من السطح وانهيار الصخور السطحية كاشفةً عن مجاري المياه تحتها.

إن هذا الأمر يمثل أحد المشاكل الكبيرة في سد الموصل، خاصةً وأن بناء السد وتكوين الخزان المائي الكبير قد أدى إلى زيادة الضاغط المائي على الأسس، وبالتالي المزيد من الذوبان وظهور مثل هذه الخسفات قريبًا من السد نفسه، مما يشكل أحد أكبر التحديات لاستقرارية السد وسلامته.

لقد تعاقب العديد من الاستشاريين على دراسة جيولوجية موقع سد الموصل وأدركوا وجود الصخور الجبسية في الأسس، حيث أوصوا بإجراء معالجات تحشية الأسس لتلافي أخطار الذوبان في تلك الأسس، لكننا نعلم الآن بأنهم جميعًا ورغم التحريات الجيولوجية المكثفة التي أجريت لم يدركوا مدى تعقيد جيولوجية تلك الأسس، كما لم يقيموا بصورة صحيحة مدى انتشار الصخور الجبسية والمدى الهائل لحالة التكهف والذوبان في تلك الأسس. كما يمكن القول بأنهم جميعًا لم تكن لديهم المعرفة والخبرة الكافية في التعامل الصحيح مع الصخور الجبسية.

لقد استخدم المصمم الاستشاري السويسري في تصميمه للسد معالجات أسس متعددة وكثيرة، منها: معالجات سطحية بحفر وإزالة الصخور الهشة، ومنها: استبدال تلك الصخور بالرولكريت ولأعماق مختلفة، وكذلك معالجات التحشية. وسوف نتطرق لذكر هذه المعالجات كافة، غير أن معالجات التحشية سوف تحظى بالشرح المفصل، نظرًا لعلاقتها بموضوع ذوبان الصخور الجبسية، وبالتالي كونها العامل الأساسي المفترض لوقف الذوبان وضمان استقرارية السد.

3 ـ معالجات الحفر والاستبدال[2][3]

إن معالجات الأسس تحت قاعدة السد الترابي تضمنت قشط وإزالة الترب السطحية المزيجية أو الفيضية إلى عمق مناسب والتخلص من كافة المواد العضوية والصخور وجعل قاعدة السد منتظمة ونظيفة، بحيث يمكن فرش مواد الدفن لقشرة السد عليها بعد الوصول إلى طبقات صخرية ملائمة.

أما بالنسبة إلى اللب الأصم، فقد تم أيضًا حفر خندق قاطع بعرض يساوي عرض قاعدة اللب تقريبًا. وقد وصل عمق الخندق المذكور ثلاثون مترًا في الجزء الأيسر من مجرى النهر، حيث تم قلع الترب الفيضية الغرينية والرملية، كما تطلب الأمر حفر وقلع المدملكات (Conglomerate) الموجودة تحتها بسبب عدم انتظام سمكها والاختلافات في نوعية المواد الرابطة لمكوناتها والاختلافات في تدرج حبيباتها، مما يجعل أجزائها المختلفة ذات نفاذية مختلفة وقوة تحمل متغيرة أيضًا.

وتم تأسيس اللب الطيني برمته على صخور الطفل مع حفر وإزالة أية جيوب

منعزلة من الحصى والمدملكات التي لوحظ وجودها هنا وهناك. كما تم تأسيس هذا اللب على طبقات البريشيا الجبسية عندما لم يكن هناك مفر من ذلك.

إن حفريات الأسس لقشرة السد لم تكن بالعمق نفسه الذي تطلبه الأمر لأساسات اللب، فكانت أقل منها بدرجة كبيرة. ففي الجانب الأيسر من مجرى النهر مثلًا، تم فقط حفر وإزالة الترسبات الرملية والغرينية للوصول إلى المدملكات التي تم تأسيس القشرة عليها. أما في الأجزاء الأخرى، فقد تم فرش القشرة على صخور المارل التي لم تتطلب الكثير من الحفريات. كما أن الأمر بالنسبة للقدمتين الأمامية والخلفية، قد تطلب فقط القشط والتنظيف ولم يكن هناك متطلبات خاصة لأساساتها، حيث إن وظيفة هاتين الكتلتين هي لإعطاء وزن إضافي للاستقرارية وليس إلا.

أثبتت التحريات الجيولوجية (عدا عن ما ورد أعلاه) تحت قاعدة السد في الجانب الأيمن وجود عروق طينية تمتد بصورة مستمرة على مسافة مئات الأمتار متخللة بين طبقتَيْ (GB1) و(GB2)، وهي ذات سمك متغير وتقع في أعماق متفاوتة، وسبق ذكر تلك العروق في الفصل الثاني الفقرة (3 ـ رابعًا ـ 2).

وقد تنبه إلى هذا الأمر مجلس الخبراء العالمي وقام ببحثه باستفاضة مع الاستشاري المصمم خلال اجتماعاته من تشرين أول (1981) وحتى حزيران (1983)[1]، ونبه إلى خطورة تلك العروق على استقرارية جسم السد وإمكانية حصول فشل نتيجة للمقاومة القصية الضعيفة لتلك العروق وإمكانية أن يكون هذا الفشل نتيجة لانزلاق السد عليها، وخاصة أن الفحوصات المختبرية التي أجريت على اللباب المستخرج منها أعطت قيم واطئة لمقاومة القص (Shear Strength). وعليه، فقد تقرر حفر الأسس إلى أعماق كافية لإزالة خمسة من هذه العروق التي ظهرت في الجانب الأيمن، وكذلك مؤخر محور السد إلى يمين ويسار موقع أنفاق التحويل بقصد زيادة استقرارية السد هناك. وفي الشكل (4) من الفصل الرابع المقطعين في المحطتين (300 + 3) و(500 + 3) اللّذَين يمثلان جزءًا من المنطقة التي عولجت بهذه الطريقة.

واستنادًا إلى هذا الأمر، فقد تم تغير طريقة تحليل السد من طريقة تحليل الانزلاق على قوس دائرة (Slip Circle Method) إلى طريقة تحليل الاستقرارية بطريقة الانزلاق على سطح أفقي في الأسس (Wedge Analysis).

أما المحصلة النهائية لهذا الأمر، فقد تم أيضًا إضافة كتلتي القدمتين في مؤخر

ومقدم السد (Toe Weights) لزيادة معاملات الأمان إلى مستوى مقبول، خاصة في حالة تعرض منطقة السد للهزات الأرضية.

بالإضافة إلى ما تقدم، تم حفر وإزالة الطبقات الصخرية غير الصالحة في أساسات المنشآت الخرسانية واستبدال تلك الطبقات بمادة الخرسانة المحدولة (الرولكريت)، ما عدا أساسات منشأ المسيل الاضطراري؛ فقد وجد أن النصف الأيسر تقريبًا من الأسس كان فوق سلسلة الطفل الأعلى ذات النفاذية الواطئة، غير أن الجانب الأيمن قد سقط فوق طبقة قوية من المدملكات ولكنها ذات نفاذية عالية؛ لذا فقد اكتفي بقشط وتنظيف سطح الطبقتين مع تغير تصميم الجزء الركامي من السد، حيث أضيف بساط طيني (Clay Blanket) في مقدم اللب الطيني فوق المدملكات في الجزء الأيمن من المقطع.

أما في أساسات المسيل المائي، فقد وجد أن أساسات منشأ السيطرة الرأسي تقطع ثلاثة أنواع، فيقع قسم منها على سلسلة الطفل الأعلى، وجزء ثانٍ على طبقة الـ(F-Bed)، والجزء الأخير على سلسلة الطفل الأسفل.

لذا، فقد تم حفر وإزالة صخور سلسلة الطفل الأعلى تمامًا لكثرة تشققها وتهشمها واستبدالها بالخرسانة المحدولة (رولكريت). كما تم حفر ستة أمتار من صخور الـ(F-Bed)، وكذلك العمق نفسه من سلسلة الطفل الأسفل، واستبدالهما بالرولكريت. وتم تنفيذ الخرسانة المحدولة هذه على شكل طبقتين بواقع ثلاث أمتار لكل طبقة، ومن ثم تنفيذ تحشية تماسية (Contact Grouting) تحت أساس المنشأ بعد صبه للتأكد من ربط طبقتَي الرولكريت مع بعضها ومع قاعدة المنشأ وعدم حصول مفاصل لتسريب المياه بينهم.

ويذكر بأن السطوح النهائية للحفريات قد تم إجراء عملية تحشية البساط (Blanket Grouting) فيها قبل إضافة الخرسانة المحدولة. وبلغت المساحة التي غطتها تحشية التقوية (8000) متر مربع، بواقع ثمانية عشر متر مربع لكل بئر من آبار التحشية وبعمق حوالي تسعة عشر مترًا للبئر الواحد. أما تحشية التماس، فقد تم حفر (148) بئرًا من آبار التحشية لتنفيذها وبعمق يتراوح من ستة أمتار إلى سبعة أمتار ونصف المتر للبئر الواحد.

وفي سياق معالجات الحفر والاستبدال في أسس المسيل المائي نفسه، لا بد من ذكر المعالجات التي جرت في أساسات قناة التصريف الخرسانية ومنشأ المذب: ففي أساسات منشأ القناة الطويلة نسبيًا نجد تقاطعها مع سلسلة الطفل الأعلى التي

تم حفرها وإزالتها بالكامل، واستبدالها بالخرسانة المضغوطة (الرولكريت)، وكذلك طبقة الـ (F-Bed) أيضًا بالإضافة إلى سلسلة الطفل الأسفل التي احتوت على طبقات وعديسات من الصخور الجبسية والأنهايدرايت، مما اقتضى حفر وإزالة واستبدال ستة أمتار من عمقها بهذه الخرسانة.

أما في منشأ المذب (Ski-Jump) مؤخر قناة التصريف، فقد تم تأسيسه على طبقة من الخرسانة المحدولة (الرولكريت) بسمك واحد وثلاثين مترًا للوصول إلى طبقة قاسية من الأنهايدرايت بعد حفر وإزالة صخور من سلسلة الطفل الأسفل التي تميزت هنا بتأثرها بصورة كبيرة بعوامل التجوية. كما أن حوض التسكين (Plunge Pool) مؤخر منشأ المذب، قد تم حفره أيضًا لغاية منسوب (240)، وتم ملْء الحفريات فيه بالرولكريت لغاية منسوب (260).

وأخيرًا بالنسبة لأساسات منشأ محطة التوليد الكهربائي الواقعة في الجانب الأيمن، فإن ظهور العروق الطينية في هذا الجانب التي سبق ذكرها قد أدى إلى إجراء حفر وإزالة الطبقات الصخرية تحت منسوب أساسات بناية التوليد بمقدار ثلاثة أمتار وملء الحفر الزائد بالخرسانة المحدولة ومن ثم تنفيذ تحشية تقوية إلى عمق تسعة عشر مترًا من أجل زيادة تحمل تلك الأساسات.

4 ـ معالجات التحشية

قد يتساءَل القارئ الكريم ـ والمقصود هنا القارئ غير المتخصص ـ عن ماهية عملية تحشية الأسس (Foundation Grouting)[6]، والتي يطلق عليها أحيانًا بعملية الحقن (Injection). لذا، فإن التعريف هنا بهذين المصطلحين هو أمر مطلوب حتى يمكن للقارئ غير المتخصص متابعة مجريات أعمال التحشية في سد الموصل الواردة في هذا الكتاب، خاصة وقد تداولت وسائل الإعلام مؤخرًا هذا الأمر عند الكلام عن سد الموصل ومشاكل الأسس فيه. فما تحشية أسس السدود إلا عبارة عن عملية ضخ وإملاء التشققات والمفاصل والفراغات المختلفة في أساس أي سد أو أي منشأ هيدروليكي آخر بقصد تحسين خواص تلك الأسس، سواء بزيادة تحملها للأثقال أو تقليل نفاذيتها. وقد تستعمل مونة السمنت والماء مع أو بدون مواد مضافة، كما قد تستعمل محاليل كيميائية معينة ذات قابلية للتصلب السريع، أو حتى استعمال مواد أخرى كالقير الساخن لتحقيق هذه الأغراض.

وتخضع عمليات التحشية شأنها شأن الأعمال الهندسية الأخرى إلى متطلبات ومواصفات دقيقة من الواجب اتباعها والتأكد من تحقيقها. تمتاز المواصفات التي

يضعها الاستشاري المصمم عادةً لمعالجات التحشية في المنشآت الكبيرة مثل سد الموصل بأنها تتضمن قدرًا واسعًا من المرونة، حيث في الوقت الذي يتم فيه تحديد الأطر العامة لتلك المعالجات، وترسم الأهداف الواجب تحقيقها، فإنها تترك كثيرًا من التفاصيل لكي يتم وضعها من قبل المقاول الثانوي الذي يكون في الغالب من الشركات المتخصصة بأعمال الأسس وبناءً على خبرته الواسعة، وعلى أن يتم تطوير أساليب العمل وتفاصيله النهائية كلما تقدم العمل وحسب توجيه وموافقة الاستشاري المصمم.

ولم يكن هناك استثناء من هذه القاعدة في حالة سد الموصل خاصة وأن هذه الأعمال هي بكميات واسعة وتفاصيل متشعبة. لذا، فقد سمى المقاول الرئيسي وهو الاتحاد الألماني الإيطالي لسد الموصل (GIMOD. JV) المقاول الثانوي المرشح (Nominated Sub Contractor) لتنفيذ أعمال التحشية عند تقديمه العطاء وهو ما أطلق عليه (ROKEM) والمتكون من اتحاد شركتَيْ روديو الإيطالية وجي. إن كيلر الألمانية (Rodeo Keller. JV). وتعتبر هاتين الشركتين من الشركات العالمية المعروفة دوليًا، كما حصلت موافقة رب العمل على هذا الترشيح عند إحالة عقد المقاولة.

إذًا، وعملًا بالقاعدة المنوه عنها أعلاه، فقد قدّم المقاول الثانوي منذ البداية شرحًا لطريقة تنفيذ العمل (Method Statement) متضمنة شرحًا تفصيليًا للمعدات المستخدمة وأساليب العمل، وتمت مناقشة هذه الخطة والموافقة عليها من قبل الاستشاري ومجلس الخبراء العالمي المعين من قبل رب العمل، كما تم تعديلها مرحليًا وحسب مستجدات العمل لغاية الإنجاز النهائي.

ومن الأمور التي نوقشت وأقرت: طريقة التنفيذ في الأجزاء المختلفة كاستخدام التحشية بالمراحل تصاعديًا (Ascending Stage Grouting)[10] أو التحشية بالمراحل تنازليًا (Descending Stage Grouting)[11]، وأنواع مزيج التحشية (Grout Mix)[12] المستخدمة وتصميم خلطات المزيج والمواد المضافة للمزيج ومواصفات السمنت المستعمل وضغوط التحشية المستخدمة وطرق فحص وتقييم العمل المنجز ومطابقته مع المتطلبات التصميمية.

أدرك الاستشاري المصمم منذ البداية خصوصية جيولوجية الأسس وخطورتها في سد الموصل، كما أدرك الأهمية البالغة لتقليل نفاذية الأسس وتقليل الرشح من خلال هذه الأسس إلى أدنى حد ممكن نظرًا لعلاقتها المباشرة بعملية الذوبان

والتكهف، لذا فقد جاءت الأسس التصميمية لأعمال التحشية دقيقة وقاسية إن صح التعبير.

وقد سبق تثبيتَ الحدود الدنيا للنفاذية المطلوبة ـ وباقي المواصفات ـ جملةٌ من الأعمال التحضيرية المهمة، فتم حال تثبيت الخط الوسطي لمحور السد القيام بتنفيذ آبار استكشافية عميقة للتعرف على حالة الأسس (Exploratory Boreholes) على طول هذا الخط، ومن أجل الحصول على التوصيف الدقيق للصخور سواء من حيث نوعيتها أو نفاذيتها. وتم أيضًا استخراج اللباب من تلك الآبار لكامل العمق من أجل المعاينة النظرية وتقدير مدى التشقق أو التشظي فيها. هذا، بالإضافة إلى إجراء فحوصات النفاذية الموقعية عليها بطريقة لوجون (Lugeon) التي سبق التحدث عنها في الهامش (9) من الفصل الثاني. وهكذا، أصبح بالإمكان معرفة الوصف الكامل للصخور قبل القيام بتحشيتها من أجل المقارنة لاحقًا مع وضعيتها بعد المعالجة والوقوف على درجة التحسن في خواصها نتيجة لمعالجات التحشية المذكورة. ولتسهيل أرشفة المعلومات المستخلصة وسهولة الرجوع إليها فقد تم تقسيم الخط الوسطي لمحور السد إلى مقاطع (Sections) بطول (36) مترًا لكل مقطع بالنسبة لمحور السد نفسه، وطول (24) مترًا للمقطع الواحد على امتدادات ستارة التحشية في الجانبين الأيمن والأيسر. وتم تسجيل كافة البيانات الخاصة بعمليات التحشية وفقًا لأرقام تلك المقاطع. ويبين الجدول (1) حالة النفاذية في مختلف الصخور في أسس السد التي تم التوصل إليها من التحريات الاستكشافية آنفة الذكر.

إضافة إلى ما تقدم، فقد أجريت تجارب موقعية فعلية للتحشية (Grouting Field Test) على حقول تحشية محددة سلفًا، واستمرت تلك التجارب في المراحل الأولى عند تنفيذ تحشية البساط. وكانت الأهداف المتوخاة من هذه التجارب هي لتحديد المسافات الفاصلة المطلوبة بين الصفوف المتوازية من آبار التحشية والمسافات البينية بين الآبار لدراسة مدى انتشار مادة التحشية في الأسس. وكذلك تصميم خلطات مزيج تحشية مختلفة وتجربتها موقعيًا مع تجربة استعمال ضغوط تحشية (Grouting Pressures) متفاوتة؛ كل ذلك للحصول على أفضل نتائج ممكنة.

إن من الأمور التي أوردتها مواصفات العمل هي أن يكون المزيج المستعمل ذو أساس إسمنتي (Cement based)[13] وأن يكون مستقرًا (Stable)[14]، إلا أن تصميم نسب خلط السمنت مع الماء ونسب البنتونايت التي يتوجب إضافتها في الخلطات

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press /سحب ثالث/ سد الموصل

لم تحدد في تلك المواصفات، وإنما تركت للتجارب في فترة الأعمال التحضيرية. وتضاف مادة البنتونايت (Bentonite)[15] عادة لزيادة استقرارية المزيج بتقليل نسبة انفصال دقائق السمنت عن الماء في المحلول (Bleed)[16] وتحسين لزوجة المحلول (Viscosity)[17] مما يساعد على اختراق التشققات الدقيقة في الصخور إلى مسافات أبعد. وفي السياق نفسه فقد كان مقررًا استعمال السمنت المقاوم للأملاح كون الأسس والمياه الجوفية غنية بالكبريتات، إلا أنه تقرر في الفترة التحضيرية استعمال السمنت المقاوم للأملاح والفائق النعومة (Superfine Cement)[18] وفي الوقت نفسه من أجل غلق التشققات الدقيقة إلى أكبر حد ممكن. لذا تطلب الأمر إجراء فحوصات على نماذج من السمنت من عدة مصادر محلية وأجنبية من أجل اختيار النوعية الأكثر ملاءمة، وقد وقع الاختيار في النهاية على استعمال السمنت المنتج في معمل سمنت حمام العليل الواقع في جنوب مدينة الموصل، على أن يتم تكرار عملية الطحن والتنعيم للوصول إلى النعومة المطلوبة.

جدول 1: قيم النفاذية في صخور الأسس تحت السد

نفاذية عالية	نفاذية معتدلة	نفاذية واطئة او صفر
الصخور الكلسيه الدولوماتيه (Dolomitic Limestone) فوق منسوب خط الكارست*	في تراكيب مثل سلسلة الصخور الطينيه ، اجزاء من تراكيب البريشيا (GB) ، تراكيب الطفل الاعلى فوق خط الكارست	كافة التراكيب تحت خط الكارست
في تركيب البريشيا الجبسيه (GB0) في الجانب الايمن		
في طبقات حجر الكلس الطباشيري في الجانب الايمن (Sec.78 to Sec.114) فوق خط الكارست		
في تركيب البريشيا الجبسيه (GB3) في مناطق التغير (transition zones) فوق خط الكارست		
في طبقات معزوله من حجر الكلس التي تتخلل سلسلة الصخور الطينيه فوق خط الكارست		
في طبقة الصخور الكلسيه (F-Bed) في الجانب الايسر فوق خط الكارست		

* سبق الحديث عن خط الكارست في الهامش (9) من الفصل الثاني.

تضمنت أعمال التحشية في أساسات سد الموصل - بصورة عامة - نوعين من الأعمال. وكان النوع الأول هو تحشية التقوية (Consolidation Grouting) في أساسات بعض المنشآت الخرسانية وكما سبق بيانه، إضافة إلى إنجاز بساط للتحشية (Blanket Grouting) تحت اللب الأصم للسد، واستهدفت المعالجة الأخيرة تقوية الأساس من جهة وتحسين خواص النفاذية من الجهة الثانية. أما

النوع الثاني فهو تنفيذ تحشية الستارة (Curtain Grouting)[19] العميقة لتقليل الرشح من خلال الأسس إلى الحدود المسموحة.

ونظرًا لاتساع الموضوع وكثرة التفاصيل فيه فقد ارتؤي بحث هذين النوعين والأنواع الأخرى التي أنجزت كل على حدة كما يلي.

5 ـ بساط التحشية (Blanket Grouting)

تعمل تحشية البساط كتحشية تقوية (Consolidation) تساعد على تحسين تجانس الطبقات الصخرية وزيادة تحملها للضغوط المسلطة على الأسس بفعل كتلة السد وتقليل الهبوط في الأسس، كما تعمل في الوقت نفسه لتقليل نفاذية هذه الطبقات بملْء التشققات سواء الشعرية منها أو الكبيرة، وكذلك ملْء أية من الفواصل والتكهفات المختلفة الموجودة، وبالتالي تقليل الرشح بصورة عامة.

تم تنفيذ تحشية البساط في سد الموصل تحت اللب الطيني الأصم للسد الرئيسي وذلك من مقطع التحشية رقم (64) الواقع في ملتقى رواق التحشية (Grouting Gallery)[20] مع نفق الدخول إليه في الكتف الأيسر للسد لغاية مقطع التحشية المرقم (113) الواقع على بعد (70) مترًا من نهاية رواق التحشية في الكتف الأيمن، وقد تضمن البساط (20) صفًا من صفوف آبار التحشية (10) صفوف منها مقدم الخط الوسطي للسد و(10) صفوف مؤخر الخط الوسطي للسد وتناقصت أعماق الآبار من (25) مترًا في الصفوف الداخلية إلى (10) أمتار في الصفوف الخارجية.

تم تحديد المسافات البينية بين الآبار بتطبيق طريقة تنصيف المسافات (Split Spacing)[21]، فقد بوشر بمسافات بينية قدرها (12) مترًا بين الآبار في الصف الواحد بما يعرف بالنسق الأولي (Primary Pattern-P)، ثم تتابع العمل بتنصيف المسافات للحصول على ما يسمى بالنسق الثانوي (Secondary Pattern-S)، ويتبع بعد ذلك التنصيف مرة أخرى فيتم الحصول على النسق الثلاثي (Tertiary Pattern-T) وبذلك تكون التحشية الأساسية (Basic Grouting) قد أنجزت، عندئذٍ تحفر آبار للتدقيق (Check Holes) والتي يتم إجراء فحص الضغط بضخ الماء فيها؛ أي: بطريقة (لوجون) لمعرفة النفاذية المتبقية بعد إنجاز التحشية الأساسية، وفي ضوء النتائج المتحققة، يتم إما الاكتفاء بذلك أو تستمر عملية تنصيف المسافات للحصول على النسق الرباعي (Quaternary Pattern-Q) أو حتى الخماسي (Quinary Pattern-L) إذا ما اقتضى الأمر ذلك.

أعد الاستشاري الأسس التصميمية للنفاذية المتبقية (Residual Permeability)

التي بموجبها يتم تدقيق وقبول العمل وهي المبينة في جدول (2)، حيث أخذ بنظر الاعتبار أن يتم تقليل نفاذية الأسس إلى الحد الأدنى المقبول وهو تقليل كمية مياه الرشح إلى المستوى الذي يؤدي إلى توقف ذوبان الصخور الجبسية أو تقليله إلى الحدود الأمينة على الأقل.

جدول 2: خلاصة بتفاصيل أعمال تحشية البساط تحت اللب الأصم للسد الرئيسي

المكان	تفاصيل توزيع ثقوب التحشيه	الاسس التصميميه لقبول العمل المنجز
تحت اللب الاصم للسد الرئيسي . من مقطع 64 في الكتف الايسر لغاية مقطع 113 في الكتف الايمن (طول كل مقطع 36 متر)	10 صفوف من ثقوب التحشيه في مقدم الخط الوسطي و 10 صفوف مؤخر الخط الوسطي للسد	اجراءفحص الضغط **Water Pressure test** بطريقة لوجون
تم الحقن من منسوب سطح الاسس عدا بعض الحالات حيث تم الحقن من منسوب اعلى قبل الوصول الى منسوب الحفر النهائي للاسس	عمق الثقوب 25 متر للصفوف الوسطيه وتتدرج بالعمق حتى يصبح العمق 10 متر في الصفوف الطرفيه	ما لا يقل عن 90 % من نتائج فحص لوجون لكافة مراحل التحشيه يجب ان تكون اقل عن 10 لوجون ولا تتجاوز نفاذية اي مرحله 30 لوجون
	المسافات البينيه بين صفوف الثقوب 2 متر. والمسافات البينيه بين الثقوب نفسها في الصف الواحد 12 متر للنسق الاولي ويتم تنصيف المسافه للنسق الثانوي وهكذا	بعد الحصول على نتائج فحوصات لوجون لنظام التحشيه الاساسيه يتم اجراء الفحوصات ويتخذ القرار لتنفيذ النسق الرباعي و الخماسي من اجل تحقيق الاسس التصميميه

نفذت أعمال تحشية البساط في معظم الحالات بعد إنجاز حفريات الأساس لغاية المنسوب النهائي أي بدون وجود ثقل على الأساس (Without counter weight)، كما تم تنفيذها في أحيان أخرى من مستوى أعلى قبل الوصول بالحفريات إلى المنسوب النهائي، أي بوجود أثقال إضافية محدودة (Limitted Counter weight). وقد كانت الضغوط المستخدمة في الحقن (Grouting pressure) تتراوح بين (0,5) بار (bar)[22] في عمق (3 ـ 5) أمتار وتصل إلى (8) بار (bar) في عمق (40) مترًا.

لقد جرى منذ البداية تصميم وتجربة عدد من خلطات مزيج التحشية (Grout mix)[23] المختلفة، فاستخدمت نسب مختلفة من السمنت والماء والبنتونايت في الخلطات حسب الحاجة الموقعية وكميات الاستهلاك عند تقدم العمل، ويمكن تلخيص هذه الأنواع بالجدول (3).

جدول 3: الخلطات التصميمية لمزيج التحشية

الخلطه	وزن السمنت/ وزن الماء (C/W)	وزن السمنت / وزن البنتونايت (C/B)	الملاحضات
A	0.25	25	مزيج خفيف
AQ	0.25	12.5	
B	0.5	25	
C	0.667	25	
D	1.0	25	مزيج ثقيل

لقد تطلب الأمر في الكثير من الأحيان عند الحقن تبديل الخلطة؛ فيمكن المباشرة أولًا بخلطة خفيفة لتسهيل اختراق المزيج للتشققات الدقيقة في الأسس ثم التدرج باستعمال مزيج أثقل ثم أثقل كلما تطور الأمر نحو غلق شقوق أكبر أو فجوات أضخم وهكذا، والأمر متروك عادة إلى خبرة القائمين على عملية الحقن واستشعار الحاجة إلى ذلك من قراءة المانومترات المستعملة لقراءة ضغوط التحشية، ويلاحظ من الجدول (3) بأن نسبة البنتونايت في الخلطات قد تراوحت ما بين (4%) و(8%)، ويتم استخدام النسبة الأعلى في المزيج الخفيف أحيانًا إذا ما لوحظ أن التشققات في الأسس دقيقة للغاية، وبالتالي حصول فصل بين دقائق السمنت عن الماء في المزيج.

أما تدقيق نتائج التحشية في المقاطع، فيتم عادة حال إنجاز التحشية الأساسية فيه (المتكون من النسق الأولي والثنائي والثلاثي) بحفر آبار تدقيق (Check Holes) وإجراء فحوصات (لوجون) فيها، وعند عدم تحقق الأسس التصميمية المبينة في الجدول (2) في أي من المقاطع، فعندئذٍ يتم حفر النسق الرباعي والنسق الخماسي وإجراء حفر الآبار التدقيقية وإعادة الفحص مجددًا.

لقد تمت مناقشة تفاصيل وإعداد الآبار التدقيقية المطلوبة لتقييم حالة تحشية البساط بصورة مفصلة بين الاستشاري السويسري وجهاز الإشراف على التنفيذ (MODACOM) وأعضاء مجلس الخبراء العالمي للسد[4][5]، وتم الاتفاق على أن تكون المسافات بين الآبار التدقيقية (15) مترًا وأن يتم حفر كل من هذه الآبار بمرحلة واحدة لكامل العمق، ثم يتم إجراء فحص (لوجون) على مراحل باستخدام السدادات المطاطية (Packer)، وفي حالة ظهور نتائج للنفاذية المتبقية تزيد عن (50) لوجون، عندئذٍ يتم تعميق البئر بمرحلة إضافية بطول (5) أمتار، ويتم إعادة الفحص لمعرفة مدى امتداد المنطقة ذات النفاذية العالية، وبعدها تتم تحشية وغلق البئر المذكور عن أن يتم حفر آبار تدقيقية إضافية حول البئر السابق، ويتم فحصها حتى تقل النفاذية إلى المستوى المطلوب. ولقد قيّمت هيئة الإشراف على التنفيذ (MODACOM) في تقريرها أعمال تحشية البساط بعد إنجاز كافة الآبار التدقيقية وفحوصات النفاذية عليها.

واعتمد التقييم مؤشرين أساسيين: اعتمد المؤشر الأول تحليل نتائج كافة فحوصات النفاذية في الآبار التدقيقية، بينما استند المؤشر الثاني على كميات المزيج المستهلك (Grout take)[24] في آبار التحشية، سواء كانت من النسق الأولي

أو الثانوي أو الثلاثي أو الرباعي أو الخماسي، ولكل مرحلة من مراحل التحشية في كل بئر.

ولا بد أن نذكر بأن التحشية في كل بئر من آبار التحشية كانت تجري وحسب المعتاد في مراحل (Grouting Stage)[25]، ويتراوح طول المرحلة من (3) أمتار إلى (5) أمتار باستخدام السدادات المطاطية (Packers)[26]. وفي الجدول (4) خلاصة لمعدلات قيم النفاذية العليا والمتوسطة والدنيا لكافة فحوصات النفاذية في الآبار التدقيقية في الجانبين الأيمن والأيسر ابتداءً من الآبار الاستكشافية، ومن ثم الآبار المنجزة بعد إكمال التحشية الأساسية، وأخيرًا بعد إكمال آبار النسق الرباعية والخماسية، وقد جرى استخلاص هذه النتائج من تقرير (MODACOM) آنف الذكر.

جدول 4: معدلات قيم النفاذية بحسب نتائج فحوصات لوجون في الآبار التدقيقية

نوع الثقوب التدقيقيه	جانب السد	اعلى قيمه باللوجون	المعدل لكافة المقاطع باللوجون	ادنى قيمه باللوجون	المقاطع
الثقوب الاستكشافيه	الايمن	98.0	28.7	7.8	من مقطع87 الى مقطع 113
	الايسر	190.8	54.5	5.9	من مقطع 64 الى مقطع 86
الثقوب التدقيقيه بعد انجاز التحشيه الاساسيه	الايمن	35.3	8.9		اعلى قيمه هي في مقطع 105
	الايسر	12	3.3		اعلى قيمه هي في مقطع 68
الثقوب التدقيقيه بعد انجاز النسق الرباعي والخماسي من ثقوب التحشيه	الايمن		3.9		* المعدل لكافة المقا طع ولا يشمل مقطع 105 و مقطع 110
	الايسر		2.7		* المعدل لكافة المقاطع ولايشمل مقطع 65 ومقطع 69

*** كانت معدلات القيمة الدنيا المتحققة في المقطع 105 والمقع 110 في الجانب الأيمن تساوي 24,1 لوجون و20,8. كما كانت في المقطعين 65 و69 تساوي 11,6 لوجون و11,7 لوجون على التوالي.**

من تحديد مواقع قيم النفاذية العالية المتبقية بعد المعالجة وتسقيطها على المقطع الجيولوجي الطولي للأسس، يتبين أنها تقع في الجانب الأيمن من مقطع النهر في الصخور الطباشيرية التي تمتاز بكثرة الفجوات والثقوب (Vugs) والتشققات الكبيرة

في الصخور الكلسية، وربما أيضًا في طبقات الصخور الكلسية عالية النفاذية التي تتخلل الطفل والتي تكثر فيها الفجوات والثقوب والتشققات الدقيقة أيضًا. أما في الجانب الأيسر، فإن قيم النفاذية الواطئة المتبقية بعد المعالجة تقع في مناطق الطبقات الانتقالية من صخور الجبسية والأنهايدرايت وطبقات البريشيا (GB2) و(GB3) مع الاحتمالية الكبيرة لوقوع قسم منها في الطبقات الكلسية التي تتخلل صخور الطفل.

وفي واقع الحال؛ فإن كافة طبقات الصخور الكلسية الواقعة فوق خط الكارست هي ذات نفاذية عالية وتمتاز بكثرة التشققات الدقيقة والفواصل المفتوحة والتكسرات والتكهفات، في الوقت الذي يمكن للماء أن يسري خلال التشققات الدقيقة؛ فإن مزيج التحشية لا يستطيع النفاذ من خلال تلك التشققات بالنظر لكون دقائق السمنت قد تغلق مداخل تلك الشقوق، وهذا يفسر قيم النفاذية العالية المتبقية حتى بعد تقليل المسافات بين آبار التحشية المتجاورة.

ضمنت هيئة الإشراف في تقريرها جداول تبين كافة الاستهلاكات من مزيج التحشية لجميع الآبار الاستكشافية والأولية والثانوية والثلاثية وأخيرًا الرباعية والخماسية، حيثما تطلب الأمر تنفيذ الأخيرة، وكما قامت بتحليل لتلك النتائج. وفي الجدول (5) خلاصة بكميات المزيج العليا والدنيا ومعدلاتها في هذه الآبار وفي كافة مقاطع التحشية.

جدول 5: خلاصة بكميات استهلاك المزيج ومواقعها

نوع الابار	استهلاك المزيج (كغم/متر)			الملاحظات
	اعلى استهلاك	معدل الاستهلاك	ادنى استلاك	
لاستكشافيه	2331	680.8	41	اجريت في 40 مقطع
الاوليه	997	186.7	44	كذلك
الثانويه	1215	138.2	39	كذلك
الثلاثيه	973	193.9	33	كذلك
الرباعيه	76	29.7	4	اجريت في 27 مقطع

من التدقيق بالأرقام الواردة في الجدول (5) يمكن استخلاص ما يلي:

- لا يوجد هناك انخفاض ملموس بالاستهلاك بين النسق الثانوي (المسافة البينية للآبار هي 6 أمتار) والنسق الثلاثي (المسافة للآبار هي 3 أمتار)، وإن هناك استهلاك عالي في العديد من الآبار ذات النسق الثلاثي يفوق الاستهلاك في آبار ذات النسق الثانوي وحتى الأولية وأحيانًا الاستكشافية.

- إن الاستهلاكات العالية الموضعية تعتبر اعتيادية بالنسبة للطبقات المتشققة والمتكهفة (الصخور الكلسية والصخور الجبسية) حيث تتفاوت أعداد وحجوم التكهفات بصورة ملحوظة في مسافات متقاربة.

- إن تغير كميات استهلاك المزيج تؤكد الحالة المتباينة والمعقدة لطبقات الأسس سواء كان ذلك بالاتجاه الأفقي أو في العمق.

- إن الاستهلاكات العالية في مثل هذه الوضعية الجيولوجية والمسجلة في العديد من الحفر الاستكشافية والأولية الثانوية وحتى الثلاثية تشير إلى إملاء تشققات مفتوحة وواسعة وفجوات كبيرة ومستمرة على امتدادات طويلة. أما الاستهلاكات القليلة في الثقوب الرباعية والخماسية فإنما تشير إلى إملاء التشققات الدقيقة والفجوات الصغيرة التي تجاوزتها عمليات التحشية السابقة والتي ملأت التشققات والفجوات الأكبر.

يمكن - من كل هذا - الاستنتاج بأنه وبعد إنجاز العمل في بساط التحشية كان هناك ولا يزال بعض المواقع التي لم يكن بالإمكان التوصل فيها إلى تحقيق الأسس التصميمية المطلوبة! وهذا بدوره يثير العديد من التساؤلات عمّا طرأ على التحشية المذكورة خلال السنوات الثلاثين الماضية منذ إنجازها في ضوء استمرار رشح المياه واستمرار عملية الذوبان.

6 - ستارة التحشية

تمتد ستارة التحشية العميقة من سفح طية جبل طيرة قرب موقع مخيم رب العمل في الجانب الأيسر لغاية طية وادي دير المالح في الجانب الأيمن.

إن من الواضح بأن كثافة المعالجة على طول الستارة وعمقها غير متماثلة، وإنما تتكيف وتتلائم مع الحالة الهيدروجيولوجية ومدى التقليل المطلوب لمياه الرشح في الأجزاء المختلفة من أسس السد والأكتاف. وعمومًا، فإن التحشية يجب أن تمتد إلى عمق يزيد عن عمق خط الكارست الذي سبق تعريفه لتجاوز كافة التراكيب الجيولوجية المتأثرة بعوامل التجوية والذوبان والتكهف.

ويمكن تعريف الأقسام والأجزاء المختلفة لستارة التحشية كما يلي:

- امتداد ستارة التحشية في الجانب الأيسر من مقطع (215) إلى مقطع (150) (1560 مترًا).
- السد الثانوي من مقطع (16) إلى مقطع (47) (1152 مترًا).
- السد الرئيسي من مقطع (48) إلى مقطع (114) (2379 مترًا).
- امتداد ستارة التحشية في الجانب الأيمن من مقطع (123) إلى مقطع (139) (408 مترًا).

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press /سحب ثالث/ سد الموصل/

يمثل الامتدادان الأيسر والأيمن من ستارة التحشية تحشية إضافية في الجناح الأيسر والأيمن خارج جسم السد وعلى امتداد محوره، والغرض منهما منع التفاف مياه الرشح من الخزان حول أسس السد نفسه، ويكون طول المقطع الواحد فيهما (24) مترًا بينما يكون طول المقطع بالنسبة لستارة السد نفسه (36) مترًا.

وفيما يلي تفاصيل هذه الأجزاء ابتداءً من أقسام الستارة تحت السد الرئيسي وتحت السد الثانوي، ثم بعدهما تفاصيل الامتداد الأيسر والامتداد الأيمن:

*** أولًا: ستارة السد الرئيسي:**

وتتكون هذه الستارة هنا من ثلاث صفوف متوازية من ثقوب التحشية العمودية وصفين من ثقوب التحشية المائلة بزاوية ميل (6°) عن الشاقول. وقد نفذت هذه الثقوب من داخل رواق التحشية (Grouting Gallery) الذي تم إنشاؤه في أسفل الخندق القاطع للسد والذي يمتد من مقطع (62) في الجانب الأيسر لغاية نهاية السد في المقطع (114) في الجانب الأيمن. أما الستارة من مقطع (61) لغاية مقطع (54) فقد أنجزت من خلال نفق للتحشية (Grouting Tunnel) الذي يستمر بدوره تحت الكتف الأيسر للسد (Left Abutment) من نهاية رواق التحشية لغاية المقطع (54) أي بداية رواق التحشية في قاعدة منشأ السيطرة الرأسي للمسيل (Spillway Headwork). ويتم الدخول إلى كل من رواق التحشية ونفق التحشية في نقطة تلاقيهما بواسطة نفق للدخول (Access Tunnel) يمتد من سطح الأرض في الكتف الأيسر منحدرًا نحو الأسفل إلى مستوى الرواق ونفق التحشية.

وهناك أيضًا مدخل ثانٍ لرواق التحشية في النهاية اليمنى له بشكل درج عميق ينتهي في أعلاه بنفق قصير يمتد نحو سطح الأرض في الكتف الأيمن.

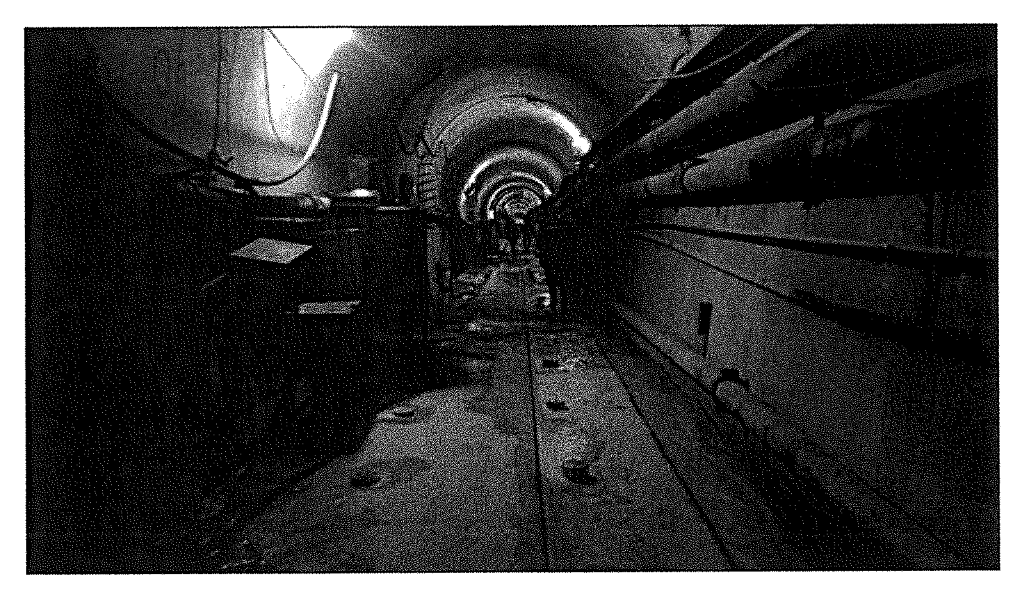
وقبل الاسترسال بتفاصيل ستارة التحشية، لا بد من إعطاء **نبذة عن رواق التحشية** بالنظر لأهميته البالغة في إنجاز هذا العمل وكذلك استخدامه كمنصة لمراقبة حالة الذوبان المستمرة في الأسس وما ينتج عنها من فقدان في كفاءة ستارة التحشية ويحتم بالتالي التدخل السريع لتنفيذ أعمال الصيانة لهذه الستارة ووقف تدهورها المستمر. كما يتطلب الأمر تقديم **نبذة عن كل من نفق التحشية ونفق الدخول** المذكورين أعلاه.

جرى تصميم **رواق التحشية** الخرساني المبين في الشكل (2) بشكل سلسلة من الأجزاء الخرسانية المرتبطة مع بعضها بمفاصل حركة تجعل بالإمكان حركة هذه الأجزاء بصورة مرنة، وبالتالي احتواء الهبوط التفاضلي للأساس دون أضرار،

ويبلغ طول الجزء الواحد (12) مترًا، كما أن المفاصل بين الأجزاء قد زودت بمانع لتسرب المياه ومفاصل لمقاومة قوى القص (Shear Key). أما مقطع الرواق نفسه فهو يشكل حدوة حصان ذو قاعدة عرضها الداخلي يساوي (3) أمتار، أما الارتفاع من الداخل فيبلغ (3,7) أمتار حيث تسمح هذه الأبعاد بتنفيذ الفعاليات المكثفة للتحشية.

لقد عانى رواق التحشية عند الإنشاء من هبوط تفاضلي ملحوظ في الأساس وكان أكبر هبوط في طبقات البريشيا الجبسية (GB) التي تقاطعت مع جزءٍ من أساساته ولا زال يعاني من هذا الهبوط حتى الآن.

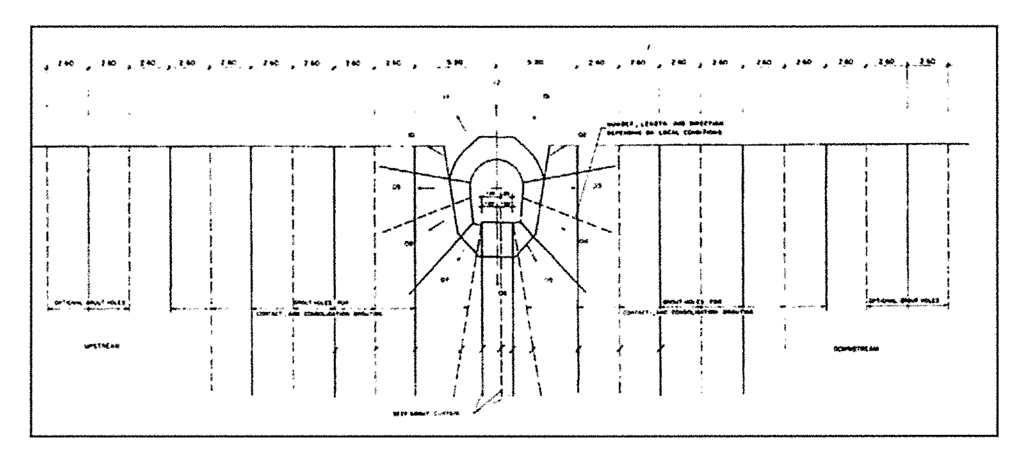
أما **نفق التحشية** في الجانب الأيسر فهو امتداد لرواق التحشية من نهايته اليسرى في المقطع (61)، ويتصل مع رواق تحشية المسيل في المقطع (54)، وقد نفذ بشكل نفق ذو مقطع دائري قطره (4,3) أمتار وقاعدة أفقية بطول (3) أمتار، وأخيرًا فإن هذا النفق المنوه عنه يؤمن الدخول إلى كل من رواق التحشية ونفق التحشية معًا، ويمتد من سطح الأرض في الجانب الأيسر إلى نقطة تلاقيهما، وقد نفذ هذا النفق بمقطع يشبه حدوة الحصان بقاعدة طولها (3) أمتار وارتفاع (2,3) متر، ويشبه في ذلك مقطع نفق الدخول الأيمن الذي سبق ذكره. وفي الشكل (1) صورة لرواق التحشية من الداخل.



شكل 1: صورة لرواق التحشية من الداخل

وفي الشكل (2) مقطع عرضي للرواق مع تفاصيل أعمال التحشية في الأسس.

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press /سحب ثالث/ سد الموصل/



شكل 2: مخطط للمقطع العرضي لرواق التحشية وموقعه بالنسبة لبساط التحشية تحت اللب الأصم

يبيِّن الشكل (2) تفاصيل تنفيذ الثقوب العمودية والثقوب المائلة لستارة التحشية المنفذة من داخل رواق التحشية، ويبلغ طول كل من الثقوب المائلة (25) مترًا بواقع صف واحد على كل جانب من جانبي الرواق. وتعمل الخطوط المائلة على تحسين الربط مع بساط التحشية وبالتالي زيادة كتامة (Water Tightness) الطبقات السطحية من الأسس.

ويظهر في الشكل أيضًا ثقوب شعاعية لإجراء تحشية تقوية (Consolidation grouting) وتحشية تماسية (Contact grouting) القصد منها ملْء أية فراغات بين الصخور والخرسانة وتقوية الكتلة الصخرية حول الرواق وكذلك غلق أية مسارات للرشح المحتمل بين الطبقات الصخرية والسطح الخارجي للرواق، وأخيرًا تقوية الجزء العلوي من ستارة التحشية.

وللمزيد من التفاصيل حول تنفيذ الستارة العميقة فقد بوشر أولًا بحفر الثقوب الاستكشافية واستخراج اللباب منها بمعدل ثقب واحد لكل مقطع، ثم أُجري فحص (لوجون) في كلٍّ منها لمعرفة قيم النفاذية وبالتالي لتحديد عمق الستارة. أما في تحشية الستارة نفسها فقد استخدم أسلوب تنصيف المسافات، فتم حفر وتحشية ثقوب التحشية الأساسية المتكونة من النسق الأولي (P) والثانوي (S) والثلاثي (T) لتصبح المسافات النهائية فيما بين الثقوب في هذه التحشية الأساسية (3) أمتار، أما الثقوب الرباعية (Q) والثقوب الخماسية (L) فقد جرى حفرها وتحشيتها في ضوء نتائج فحوصات (لوجون) في الثقوب التدقيقية التي أُجريت حسب هذه الطريقة عند حصول استهلاكات كبيرة في التحشية الأساسية.

لقد كانت الأسس التصميمية التي اعتمدت للقبول بأعمال التحشية قاسية جدًا

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/

وبدلالة قيم التحشية المتبقية المستخلصة من فحوصات (لوجون) في كافة مراحل التحشية المنجزة بقصد تقليل كميات الرشح إلى الحدود التي يقل فيه ذوبان الجبسم إلى الحد الأدنى المقبول وكما هو مبين في ما يلي:

<u>في الثلاثين متر العليا</u>

- 95% من كافة المراحل ذات نفاذيه تقل عن 2 لوجون
- 100% من كافة المراحل تقل عن 5 لوجون

<u>تحت الثلاثين متر العليا</u>

- 95% من كافة المراحل تقل عن 5 لوجون
- 100% من كافة المراحل تقل عن 10 لوجون

إن من المؤكد اعتبار هذه الأسس التصميمية صارمة جدًا في ضوء التحشيات في أسس سدود أخرى، وقد تم اتباع أساليب مختلفة للتحشية وأنواع مختلفة من المزيج واستخدام ضغوط تحشية متفاوتة في المناطق والأعماق المختافة من هذه الستارة، وذلك بالنظر للتباين الشديد في حالات الأسس من نقطة إلى أخرى.

ويذكر بأنه قد جرى استخدام أسلوب تحشية المراحل التنازلي لتقوية الطبقات العليا من الأسس بعمق يتراوح بين (10) أمتار و(25) مترًا حتى يتمكن من استعمال ضغوط تحشية عالية في الأعماق التالية.

كما استعمل نفس الأسلوب أيضًا عند مصادفة تكهفات كبيرة أثناء الحفر وحصول هبوط فجائي في أدوات الحفر، كما استعمل عند حصول فاقدات كبيرة بالماء أو حصول انهيارات في البئر المحفور.

أما تحشية المراحل بالأسلوب التصاعدي، فقد استخدم في أجزاء أخرى بحفر البئر كاملًا إلى العمق النهائي ثم تحشيته صعودًا وعلى مراحل باستخدام السدادات الاعتيادية (Packers) في قمة كل مرحلة أو باستعمال الأنبوب متعدد السدادات (MPSP)[27] أو استخدام ما يسمى بأنبوب المانشيت (A Manchette tube)[28] الذي استعمل للتحشية الإنهائية (Finistage)[29]، خاصة في طبقات المدملكات تحت السد الثانوي وكذلك التحشية الإنهائية في سلسلة الصخور الطباشيرية من مقطع (79) لغاية النهاية اليمنى من جسم السد.

استخدمت في التحشية أنواع متعددة من المزيج، وبناءً على التجارب الموقعية

الناجحة، فقد تم اعتماد خلطات مختلفة، حيث تم التوصل إلى وجوب استعمال خلطات مستقرة من السمنت والبنتونايت المضاف بنسبة (4%)، كما استخدم مزيج من هلام البنتونايت (Bentonite Gel)[30] في تحشية الإنهاء في النسق الرباعي والخماسي لتحشية التراكيب ذات النفاذية العالية مثل طبقات المدملكات في أساسات السد الثانوي في الجانب الأيسر وكذلك في تراكيب الصخور الطباشيرية والصخور الكلسية من تركيب الجريبي في الجانب الأيمن.

واستعملت التحشية الكيميائية بواسطة مزيج من هلام السليكا (Silica Gel)[31] ذو اللزوجة القليلة في المناطق التي كانت فيها النفاذية المتبقية (Residual permeability) عالية بعد إنجاز كافة الأنساق وهي المناطق التي بقيت مفتوحة للرشح حتى النهاية، وأطلق عليها اسم النوافذ أو الشبابيك (Windows)، وخاصة في المقاطع (87) و(101) حتى (105) و(108) حتى (111)، وهي نفس المساحات التي بقيت فيها الستارة تشكو من التدهور فيما بعد.

إن استخدام التحشية الكيميائية قد جرى عندما لم يحقق النسق الخماسي (المسافات البينية الآبار 0,75 مترًا) الأسس التصميمية المطلوبة، وفي مثل هذه الحالات تم إضافة صف أو صفين إضافيين من آبار التحشية بين الصف الأمامي والصف الوسطي من الستارة. أما ما يتعلق بالضغوط المستعملة لضخ المزيج في صفوف الآبار العمودية من الستارة، فقد كانت بحدود (0,5) بار في (3 ـ 5) أمتار العليا من الستارة ليتم زيادتها تدريجيًا حسب العمق، وحتى الوصول إلى حالة الرفض (Refusal)[32].

وقد أمكن التوصل من خلال التجارب في سد الموصل إلى القاعدة العامة التالية لتحديد ضغط الرفض (Refusal Pressure)[33] وكما يلي:

ضغط الرفض (P) = 0,5 × H بار.

حيث إن (H) هو العمق بالأمتار للنقطة التي تتم فيها التحشية.

غير أن هذه القاعدة تم تخفيفها أحيانًا في تحشية المراحل العليا عندما لم يكن هناك ثقلًا كافيًا على الأسس، ولم تتجاوز ضغوط التحشية المستعملة عادة (50%) من ضغط الرفض لمنع حصول رفع في سطح الأسس وكذلك حصول استهلاك كبير بالمزيج نتيجة حصول تشقق هيدروليكي (Hydraulic Fracturing). وفي الأحوال كافة فإن أي تغيير من القاعدة العامة كان يتم بواسطة تعليمات موقعية.

إن التقدم في إملائيات السد وازدياد الضغط على الأسس جعل من الضروري

إجراء مثل هذه التغيرات في ضغوط التحشية، لذا فإن قيمة ضغط الرفض في أعمال التحشية التي جرت تحت رواق التحشية مباشرة ابتدأت من (15) بار لتصل إلى (30) أو (40) بار بزيادة (1) بار أو (2) بار لكل مرحلة إضافية في العمق. أما آبار التحشية المائلة التي نفذت مقدم ومؤخر الصفوف العمودية الثلاثة فقد اعتمد في تحشيتها ضغط رفض بمقدار (15) بار.

أجرت هيئة الإشراف على العمل (MODACOM) تقييمًا شاملًا على أعمال تحشية هذه الستارة أسوة بتقييم تحشية البساط، وشمل التقيم قيم النفاذية المتبقية واستهلاكات المزيج. فقد بينت النتائج لفحوصات لوجون التي أجريت في الآبار الاستكشافية العميقة تفاوتًا كبيرًا في قيم النفاذية وحسب طبيعة ونوعية التراكيب الصخرية، كما هو مبين في الجدول (5).

وفي الوقت الذي تجاوزت قيم النفاذية أرقامًا كبيرة في العديد من التراكيب الواقعة فوق مستوى خط الكارست الذي سبق ذكره (الفقرة 4 ـ أولًا) والشكل (12) من الفصل الثاني، إلا أن هذه القيم كانت واطئة للغاية أو معدومة تحت خط الكارست. فعلى سبيل المثال: لم يكن هناك أي استهلاك بالماء في البئر الاستكشافي في المقطع (62) البالغ عمقه (200) متر عند إجراء فحص لوجون في (49) مرحلة من مراحل الحفر تحت خط الكارست. كما كانت هناك (36) مرحلة تحت خط الكارست أيضًا في البئر الاستكشافي في المقطع (42) والبالغ عمقه (185) مترًا لم تستهلك أي كمية من ماء الفحص. وهذا الأمر يفسر السبب في اعتماد الاستشاري خط الكارست على أساس أنه الخط الفاصل بين الطبقات العالية النفاذية والمناطق غير النفاذة، كما أنه قام بتحديد عمق الستارة تحت السد الرئيسي باعتماد عمق خط الكارست هذا، ولكن يمكن القول بأن عمق خط الكارست قد ازداد تدريجيًا خلال سنوات التشغيل وكما أظهرت ذلك نتائج تحشية الصيانة التي جرت خلال الثلاثين سنة الأخيرة.

إنه من الواضح الآن بأن التحشية في البعض من التراكيب لم تؤد إلى تناقص النفاذية في العديد من الأماكن في الأسس فوق خط الكارست حتى بعد إضافة النسق الرباعي والنسق الخماسي من آبار التحشية، خاصة في طبقات الصخور الكلسية الطباشيرية التي تخللتها طبقات البريشيا الجبسية والصخور الجبسية والأنهايدرايت، لذا فقد أضيف في كل من تلك الأماكن صفين جديدين من صفوف التحشية.

وعلى الرغم من كل ذلك، فقد بقيت بعض الأجزاء عالية النفاذية، وهي المبينة أيضًا في جدول (5). ويمكننا القول بأن تحشية الستارة جاءت منقوصة في تلك الأماكن، وهذا هو أحد الأسباب الرئيسية لتدهور حالة الستارة المستمر، والاستمرار بمعالجات تحشية الصيانة إلى يومنا هذا، وكما سيرد شرحه تفصيليًّا في الفصل الثامن.

إضافة على ما تقدم، فقد أجرت هيئة الإشراف على التنفيذ تقييمًا شاملًا لاستهلاكات المزيج في آبار التحشية، ويمكن استخلاص العديد من الأمور من هذا التقييم، حيث تبين النتائج بأن العلاقة واضحة بين طبيعة التراكيب الجيولوجية من جهة ونفاذيتها من الجهه الأخرى.

جدول 5: قيم النفاذية في ثقوب التحشية بعد إجراء عمليات التحشية

نوع الابار	المكان	حالة النفاذيه
الابار الاستكشافيه (قبل التحشيه)	في الصخور الكلسيه الدولوماتيه في تركيب الجريبي وتركيب جداله – سنجار فوق وتحت طبقة البوكسليت. فوق خط الكارست	قيم النفاذيه من عاليه الى عاليه جدا
	في طبقة البريشيا الجبسيه (GB0) في الجانب الايمن والحاويه على نسبه عاليه من الجسم في كتلة البريشيا. فوق خط الكارست	
	في السلسله الطباشيريه تحت مجرى النهر وكذلك في الكتف الايمن (مقطع 78 لغاية مقطع 114. فوق خط الكارست	
	في كافة طبقات البريشيا (GB) وخاصة في المناطق الانتقاليه (Transition zones) . فوق خط الكارست	
	في طبقة حجر الكلس (F-bed) في الجانب الايسرفوق خط الكارست	
	في التراكيب الاخرى مثل صخور الطفل السفلى وطبقات البريشيا القديمه المتداخله مع الطفل ، وكذلك في الطفل الاعلى فوق خط الكارست	قيم النفاذيه متوسطه واحيانا واطئه
	كافة التراكيب تحت خط الكارست سواء كانت من الصخور الكلسيه او الطفل اوالصخور الكلسيه الدولوماتيه	قيم النفاذيه واطئه
الابار التدقيقيه بعد انجاز التحشيه الاساسيه المتكونه من النسق الاولي والثانوي والثلاثي	لم تتحقق الاسس التصميميه في الصخور الكلسيه الطباشيريه في مناطق واسعه بين المقاطع (72)-92) وبين (97-93) و (104-102)ومقطع (110)	لم تتحقق النفاذيه المطلوبه على الرغم من اضافة صفين من الثقوب بعد النسق الرباعي والخماسي
	في الصخور الكلسيه (F-bed) وشملت مناطق واسعه فوق نفق التحشيه في الكتف الايسر في المقاطع(61-57) . ومساحات محدوده فبي مقطع (55) وتحت المنشا الراسي للمسيل ومقطع (49) وبداية المقطع (54)	

ويمكن أن نستخلص الأمور التالية من تقرير هيئة الإشراف (MODACOM) المذكور:

ـ أورد التقرير كميات الاستهلاك في كافة الآبار في الصفوف العمودية الثلاثة من التحشية الأساسية بنسقها: الأولي (P)، والثنائي (S)، والثلاثي (T)، والصفين المائلين أيضًا، كما أدرج أيضًا الاستهلاكات في آبار صفوف النسق الرباعي والخماسي حيثما نفذت، ومن ثم استخرج معدلات الاستهلاك في كل مقطع من

مقاطع التحشية بقصد المقارنة فيما بينها وربط هذه المعلومة مع معدلات النفاذية المتبقية في تلك المقاطع وجيولوجية الأسس فيها، وقد لوحظ ترابط قوي بين هذه الأمور الثلاثة.

- يمكن تفسير التباين في استهلاك مزيج التحشية حسب العمق عند التقدم من الجانب الأيسر باتجاه مقطع النهر والكتف الأيمن على أساس التباين في عمق خط الكارست، فنلاحظ بأن هذا الخط ينحدر بحده باتجاه اليمين ويكون عميقًا نسبيًا في مقطع النهر، مما يفسر وقوع مناطق استهلاك المزيج العالي فوق هذا الخط مباشرة في المقاطع (79 - 86) التي تقع في مقطع النهر، ويعود خط الكارست بعد ذلك بالارتفاع تدريجيًا باتجاه الكتف الأيمن، لذا نرى مناطق الاستهلاك العالي تقع في مناسيب أعلى كلما ابتعدنا عن المقطع (86) وحتى نهاية السد اليمنى، حيث تصبح الطبقات الصخرية أقل نفاذية بسبب امتلاء التكهفات والتشققات بمواد رابطة متماسكة.

- في تنفيذ الصفوف العمودية من آبار التحشية، كان السياق المعتمد أن يتم حفر وتحشية الصف الأمامي من صفوف التحشية العمودية يتبعها حفر وتحشية الصف الخلفي، وأخيرًا يتم تنفيذ تحشية الخط الوسطي، لذا فإنه من المنطقي أن تأتي معدلات الاستهلاك في الصف الوسطي أقل من قيمها في الصفين الأمامي والخلفي.

- لوحظ في العديد من المقاطع أن معدلات الاستهلاك في الآبار العائدة لنسقي الثقوب الرباعية والخماسية والتي تمت باستعمال هلام البنتونايت، وأحيانًا هلام السليكا تفوق تلك المعدلات في آبار التحشية الأساسية. لذا فإن هذا يؤشر بأنه في الوقت الذي نجحت فيه التحشية الأساسية في غلق وإملاء التشققات والتكهفات الكبيرة باستعمال مزيج السمنت - بنتونايت فإنها لم تنجح في سد وإملاء التشققات والفطور الدقيقة.

- كانت معدلات الاستهلاك في المقاطع بين مقطع (79) ومقطع (114) تزيد على (200) كغم/متر في (17) مقطعًا، وأن عددًا من تلك المقاطع زاد فيها الاستهلاك عن (500) كغم/متر وهي المقاطع من (93) لغاية المقطع (98)، والمقاطع (104) و(106) و(112)، وفي المسافة نفسها كان هناك مقطع واحد استهلك أقل من (100) كغم/متر، ولم يكن هناك أي مقطع باستهلاك يقل عن (50) كغم/متر.

ـ أما باتجاه الجانب الأيسر من مقطع (79) لغاية مقطع (49)، فإن معدلات الاستهلاك بصورة عامة كانت أقل من الجانب الأيمن، وقد تراوحت بين حد أدنى قدره (24) كغم/متر إلى حد أقصى بلغ (257) كغم/متر، ومن هذه الثلاثين مقطعًا كان هناك فقط (13) مقطعًا باستهلاك يقل عن (100) كغم/متر، وسبعة أخرى باستهلاك يقل عن (50) كغم/متر.

ـ إن الاستهلاكات في الجانب الأيسر كانت أقل نسبيًا من تلك في الجانب الأيمن بالنظر لطبيعة التراكيب الجيولوجية في هذا الجانب، والسبب في ذلك هو أن جزءًا من أسس السد تقع على طبقة من صخور الطفل التي لم تستهلك كميات كبيرة من المزيج لزيادة نسبة الطين فيها، وما عدا ذلك فإن طبقة الصخور الكلسية نوع (F-bed) والصخور الكلسية التي تخللت الطينية قد استهلكت كميات كبيرة من المزيج.

ـ كانت هناك استهلاكات عالية جدًا في الصف الأمامي والصف الخلفي من آبار التحشية الأساسية (P,S,T) في المقطع (79) والذي يتفق مع بداية المجال الانتقالي (Transition zone) لطبقة (GB0). وفي هذا المقطع، يبدأ خط الكارست بالصعود حتى يصل قريبًا من مستوى أساس السد في المقطع (75). وبالاستمرار نحو الجانب الأيسر فإن معظم الأنهايدرايت يكون كتيمًا ونفاذيته واطئة ولا يبدو فيه علامات للتكهف عدا المقاطع من (59) إلى (71)، فإن جزءًا من طبقتَيْ (GB2) و(GB3) قد بقيتا فوق خط الكارست أو قريبًا منه.

وقد لوحظ بعد استخدام مزيج (السمنت ـ بنتونايت) وجود نفاذية متبقية عالية في الآبار التدقيقية التي أجريت هنا مما استوجب استخدام المزيج من هلام البنتونايت في النسق الرباعي، كما استدعى إعادة حفر وتحشية آبار النسق الثنائي والثلاثي بهذا المزيج. وتم أيضًا استخدامه في تحشية آبار النسق الخماسي في المقاطع من (79) حتى (113) وآبار النسق الرباعي في المقاطع (63) إلى (78) وفي الآبار الرباعية وبعض الآبار الخماسية في المقاطع (28) لغاية (53).

ـ ويبدو من سجل هيئة الإشراف على التنفيذ، بأن مزيج هلام السليكا قد استعمل في عدد من الآبار معظمها في الجانب الأيمن. فقد استخدم في الآبار الخماسية في المقاطع من (86) إلى (88)، ومن (101) لغاية (105)، ومن (108) لغاية (111)، ومع ذلك فقد سجلت استهلاكات عالية تتراوح بين (213) إلى (235) كغم/متر في المقاطع (101) إلى (104)، و(237) كغم/متر في المقاطع (108) إلى (111).

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press /سحب ثالث/ سد الموصل

- أما في صفوف الآبار المائلة الأمامية والخلفية، فقد سجلت استهلاكات قليلة عدا الاستهلاكات في الصف الأمامي في المقاطع (95) إلى المقطع (97) فقد تم تسجيل ما يزيد عن (250) كغم/متر من الاستهلاك. ويعزى السبب في الاستهلاكات القليلة للصفوف المائلة من الآبار هو أنها أجريت بعد إنجاز تحشية البساط والثقوب العامودية للستارة مما يؤشر كفاءة كل من تحشية الستارة والبساط في أول (25) مترًا منها من الأسس.

* ثانيًا: ستارة السد الثانوي:

وتمتد هذه الستارة من مقطع (47) لغاية المقطع (16) تحت السد الثانوي بضمنه المسيل الاضطراري ويبلغ طولها (1152) مترًا، حيث يبلغ طول مقطع التحشية الواحد (36) مترًا. لقد تم تنفيذ هذه الستارة في الأصل من صف واحد من صفوف آبار التحشية بهدف تقليل النفاذية في التركيبين الجيولوجيين في أعلى الأسس من صخور الطفل الأعلى، وهما ترسبات الشرفات (Deposits Terrace) المتكونة من الترسبات الفيضية القديمة من الطمي والرمل والحصى والصخور الكلسية نوع (F-bed)، وهذه الأخيرة سميكة نسبيًا وشديدة التكهف والتشقق في الوقت نفسه مما يجعلها ذات نفاذية عالية جدًا.

أما ما يلي هذه الطبقة من صخور الطفل الأسفل، فهي ذات نفاذية واطئة للغاية أو قد تكون معدومة.

وقد لوحظ لاحقًا عند المباشرة بالخزن الأولي وارتفاع منسوب الخزن إلى ما يزيد عن منسوب (300م) ظهور مياه الرشح بكميات غزيرة من عدة ينابيع في مؤخر السد الثانوي وبالأخص قرب منشأ مذب المسيل، لذا فقد تبين عدم كفاية التحشية المنفذة، واقتضى هذا الأمر إضافة صف ثاني من صفوف ثقوب التحشية في مقدم الصف الأصلي من الستارة وإلى عمق تجاوز العمق الأصلي لها لاختراق كامل طبقة الصخور الكلسية (F-bed)، ومن ثم النفاذ في صخور الأنهايدرايت/ الجبسم في طبقة البريشيا الجبسية (Gypsum Breccias) التالية.

تم حفر الآبار الاستكشافية العميقة لهذه الستارة أسوة بأعمال تحشية السد الرئيسي، وتم الحصول على اللباب الصخري الكامل من هذه الثقوب وإجراء فحوصات (لوجون) فيها بهدف تحديد العمق المطلوب للستارة، وقد لوحظ بأن الطبقات فوق طبقة الصخور الكلسية (F-bed) - وجميعها موازية تقريبًا لسطح الأرض - ذات نفاذية قليلة نسبيًا، أما طبقة (F-bed) نفسها فقد كانت ذات نفاذية

عالية للغاية، وأخيرًا عند اختراق صخور الأنهايدرايت/الجسبم في طبقة البريشيا الجبسية (Gypsum Breccias GB3) التالية امتازت بكون المادة الرابطة فيها (Matrix) شديدة الانضغاط وصماء إلى درجة كبيرة.

لقد تراوحت أعماق الآبار الاستكشافية عمومًا بين (75) مترًا و(90) مترًا، وذلك لتدقيق نوعية الصخور في العمق وتدقيق نفاذية صخور سلسلة المارل الأسفل أيضًا.

واتبع في تحشية هذه الستارة أيضًا أسلوب تنصيف المسافات (Split Spacing) الذي سبق ذكره في تحشية ستارة التحشية للسد الرئيسي، كما تم تنفيذ النسق الرباعي والنسق الخماسي حيثما اقتضى الأمر واستخدم مزيج (السمنت ـ بنتونايت) في كافة الأنساق، عدا بعض الآبار الرباعية والخماسية غير العميقة الواقعة في أساسات المسيل الاضطراري في المقاطع بين المقطع (28) والمقطع (46)، حيث استخدم فيها مزيج من هلام البنتونايت.

أما ضغط الرفض المستخدم في أي مرحلة فكان محكومًا بسمك طبقات الأسس فوق منسوب المرحلة تلك، وبالتالي الوزن المسلط على الأسس في تلك النقطة.

إن الأسس التصميمية المعتمدة للقبول بالعمل المنجز في هذه الستارة هي أقل تشددًا من تلك التي اعتمدت لستارة السد الرئيسي بالنظر لطبيعة الأسس المختلفة تحت السد الرئيسي من حيث درجة التكهف والتشقق والذوبان وكذلك العمق الكبير الذي امتدت إليه عوامل التجوية هناك وإلى كون الضاغط المائي المؤثر على ستارة تحشية السد الرئيسي أكبر.

وعليه، فإن الأسس التصميمية المعتمدة في تحشية السد الثانوي هي:

- 90% من كافة مراحل التحشيه ذات نفاذيه تقل عن (10) لوجون
- عدم وجود مرحلتين متجاورتين من مراحل التحشيه بنفاذيه تزيد عن (30) لوجون
- عدم وجود اي مرحله نفاذيتها تزيد عن (50) لوجون

وكما الحال في ستارة السد الرئيسي، فقد أجرت هيئة الإشراف العام على التنفيذ (MODACOM) تقييمًا للعمل المنجز بدراسة النفاذيات المتبقية واستهلاك المزيج في ثقوب التحشية. فقد تم تسجيل قيم مرتفعة للنفاذية في الثقوب الاستكشافية في طبقة الصخور الكلسية (F-bed) وفي طبقة ترسبات الشرفات الفيضية القديمة فوقها، بينما امتازت تلك القيم بكونها واطئة جدًا أو معدومة أحيانًا في طبقات سلسلة صخور الطفل الأعلى.

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/

أما بعد إنجاز الستارة الكاملة بصفيها، فقد وجد من نتائج الثقوب التدقيقية وجود مراحل محدودة لا تزال تعاني من نفاذية عالية في المقطع (31) والمقطع (35) أي في أساسات المسيل الاضطراري وكذلك في المقطع (38) أيضًا في منطقة واحدة فقط في طبقة (GB3) من سلسلة صخور الطفل الأعلى.

أما عن معدلات استهلاك مزيج (السمنت ـ بنتونايت) فتراوحت بين (1560) كغم/متر في المقطع (27) إلى (2296) كغم/متر في المقطع (28) وذلك في التحشية الأساسية، وسجلت استهلاكات تزيد عن (500) كغم/متر في الثقوب التدقيقية للتحشية الأساسية في المقاطع (16)، (17)، (24)، (25)، (29)، (32) و(36).

كذلك سجلت استهلاكات عالية كذلك من مزيج هلام البنتونايت في النسق الرباعي والخماسي في المقطع (44) بمقدار (523) كغم/متر، والمقطع (43) بمقدار (314) كغم/متر، وفي مقطع (42) أيضًا بكمية (330) كغم/متر.

وكان هناك استهلاك كبير من مزيج هلام البنتونايت أيضًا في الثقوب التدقيقية في المقطع (36) بكمية (342) كغم/متر علمًا بأن هذه الثقوب لم تظهر استهلاكات عالية من مزيج (السمنت ـ بنتونايت) مما يدلل على أن التشققات في هذه المنطقة كانت دقيقة بحيث لم تتقبل مزيج (السمنت ـ بنتونايت) ولكنها تقبلت مزيج هلام البنتونايت.

إن استمرار تدفق مياه الرشح في منطقة الكتف الأيسر لاحقًا وحتى بعد إضافة صف ثاني للستارة يدل على عدم نجاح هذه التحشية بصورة تامة، لذا فإن الستارة وإن خفضت من كميات الرشح إلا أنها لم تقطعه تمامًا، مما يعني استمرار الذوبان في الصخور الجبسية وحتى الصخور الكلسية في هذا الجانب.

* ثالثًا: امتداد ستارة التحشية في الجانب الأيسر (Left Side Curtain Extension):

تعتبر هذه الستارة امتدادًا لستارة التحشية للسد الثانوي، إلا أنها تختلف عنها بالمواصفات والأسس التصميمية، كما أن الغرض الأساسي منها هو معالجة وتقليل نفاذية طبقة الصخور الكلسية (F-bed) المستمرة بالاتجاه شرقًا نحو جبل طيرة، وبالتالي منع تغذية المكمن المائي خلف موقع السد الثانوي بسبب التفاف مياه الرشح حول نهاية السد، وبالتالي زيادة الرشح والذوبان في مؤخر هذا السد.

تتألف هذه الستارة من صف واحد من ثقوب التحشية، وهي بطول (1560) مترًا، وقد نفذت من مستوى سطح الأرض وبمسار يتبع خط الكنتور (330) لتجنب الحفر الزائد للثقوب طالما أن الغرض منها تقليل رشح المياه من الخزان إلى المكمن المائي، وحيث إن منسوب (330) هو منسوب التشغيل الأعلى السنوي فإن أي خزن فوق هذا المنسوب إذا ما حصل نتيجة للفيضانات العاليه جدًّا هو خزن وقتي قد لا يتكرر كثيرًا ويتم تصريفه بسرعة.

قسّمت الستارة إلى مقاطع للتحشية لسهولة توثيق تفاصيل العمل، إلا أن طول المقطع المعتمد كان (24) مترًا، إضافة إلى أن تسلسل هذه المقاطع كان مختلفًا عن بقية أقسام ستارة التحشية؛ لذا بدلًا من اعتماد رقم المقطع (15) الذي يلي آخر مقطع في تحشية السد الثانوي ويمثل المقطع الأول في هذه الستارة فقد أعطي الرقم (150)، وقد امتدت هذه الستارة إلى المقطع المرقم (215)، فيكون عدد المقاطع (65) مقطعًا. واعتمدت مسافة (8) أمتار كمسافة بينية لثقوب النسق الأولي فتكون بذلك المسافة البينية للنسق الثلاثي (2) متر، وتم أحيانًا في هذه الستارة تنفيذ النسق الرباعي وحتى الخماسي عند ظهور الحاجة لذلك.

اتبع في تنفيذ هذه الستارة السياق نفسه الذي اتبع في الأقسام الأخرى بحفر ثقوب استكشافية بلغ عددها (12) ثقبًا مع استرجاع اللب الصخري وإجراء فحوصات لوجون فيها. وتراوحت أعماق هذه الثقوب بين (59) و(120) مترًا وذلك للتمكن من تحديد عمق خط الكارست الفاصل بين الطبقات عالية النفاذية والأخرى الصماء، وتراوح عمق الخط المذكور بين (60) مترًا تحت منسوب (330) قرب نهاية المسيل الاضطراري و(69) مترًا تحت منسوب (330) في نهاية الستارة. واستخدم في التحشية مزيج (السمنت ـ بنتونايت)، ولم يعتمد في تحديد مقبولية التحشية المنفذة أي قيمة للنفاذية المتبقية، أي: لم تنفذ ثقوب تدقيقية لإجراء فحص لوجون فيها، وإنما اعتمد لهذا الغرض تدقيق كميات المزيج المستهلكة في التحشية الأساسية ومن ثم حفر الثقوب الرباعية والخماسية إذا اقتضى الأمر ذلك.

في هذا التقييم اعتمدت الخبرة المكتسبة في تحشية الأقسام الأخرى وكميات المزيج المستهلك في مراحل تلك الأقسام، وتم تسجيل استهلاكات عاليه جدًّا تزيد عن (2000) كغم/متر في النسق الأولي في المقاطع (213) لغاية (203)، كما كان

هناك استهلاكات كبيرة أيضًا في النسق الثانوي في المنطقة نفسها؛ ومع ذلك لم يتم هنا إضافة نسق ثلاثي أو رباعي، وسجلت استهلاكات كبيرة في النسق الأولي والثانوي والثلاثي في المقاطع من (198) إلى (201)، واستهلاكات معتدلة في المقاطع (189) لغاية (197) لم تتجاوز (300) كغم/متر.

ومن الملاحظات التي تم تسجيلها هي ارتفاع كمية الاستهلاك كلما اقتربنا من السد الثانوي فكان هناك استهلاك بلغ (3000) كغم/متر في المقطع (178) في النسق الأولي وبعض المراحل المحدودة في النسق الثانوي مما أدى إلى إضافة نسق رباعي في مقطع (182) والمقاطع من (178) لغاية (180).

من كل النتائج المذكورة يتبين أن معالجة التحشية في هذه الستارة جاءت منقوصة أيضًا ولم تحقق كامل الغرض الذي تم توخيه منها، وأن الاحتمال الكبير بوجود منكشفات (Outcrops) لطبقة (F-bed) داخل الخزان أدى إلى استمرار جريان ورشح المياه فيها نحو مؤخر السد حيث لم تغلق الطبقة بصورة كاملة.

* رابعًا: امتداد ستارة التحشية في الجانب الأيمن (Right Side Curtain Extension):

تمتد هذه الستارة من نهاية الكتف الأيمن للسد بعد مقطع التحشية (114) بزاوية مائلة قليلًا عن اتجاه محور السد الرئيسي باتجاه الخزان، وقد حدد هذا المسار وطول الستارة من قبل الاستشاريين السويسريين الذين قاموا بإجراء دراسة نموذج رياضي هيدروجيولوجي للغرض المذكور[6].

وقد كانت الدراسة تهدف إلى التوصل للإجابة على السؤال: هل يؤثر سحب وتصريف المياه بواسطة أروقة الصرف في محطة الخزن بالضخ الواقعة في باطن طية وادي المالح على تخفيض منسوب المياه الأرضية لمكمن وادي المالح المائي عند إنشاء محطة الخزن بالضخ وتشغيلها، وبالتالي يساهم في حماية الكتف الأيمن للسد من الرشح؟

وقد كانت نتائج النموذج لا تشير إلى وجود أي تأثير ملموس على وضعية الرشح في الكتف الأيمن من السد بسبب تخفيض منسوب المياه الجوفية في موقع المحطة المذكورة.

لذا، فقد تقرر فصل موضوع الرشح من خلال الكتف الأيمن عن موضوع حماية إنشاءات محطة الخزن بالضخ ومعاملة كل منهما على حدة.

وعليه؛ تم اختيار ثلاثة بدائل لمسارات الستارة المذكورة، آخذين بنظر الاعتبار طوبوغرافية سطح الأرض وأعماق الطبقات الصماء التي يتوجب الوصول إليها في كل بديل وبالتالي عمق الستارة.

استخدمت في النموذج طريقة القطع المحددة (Finite Elements) الثلاثية الأبعاد لحل المعادلات التفاضلية لجريان المياه في وسط مسامي (Porous media) حيث كانت المدخلات للنموذج وحدوده قد تم توصيفها استنادًا إلى نتائج الثقوب الاستكشافية التي أجريت في هذا الجانب لتحديد سمك وامتدادات الطبقات والعالية النفاذية وقيم تلك النفاذية إضافة إلى طوبوغرافية سطح الأرض.

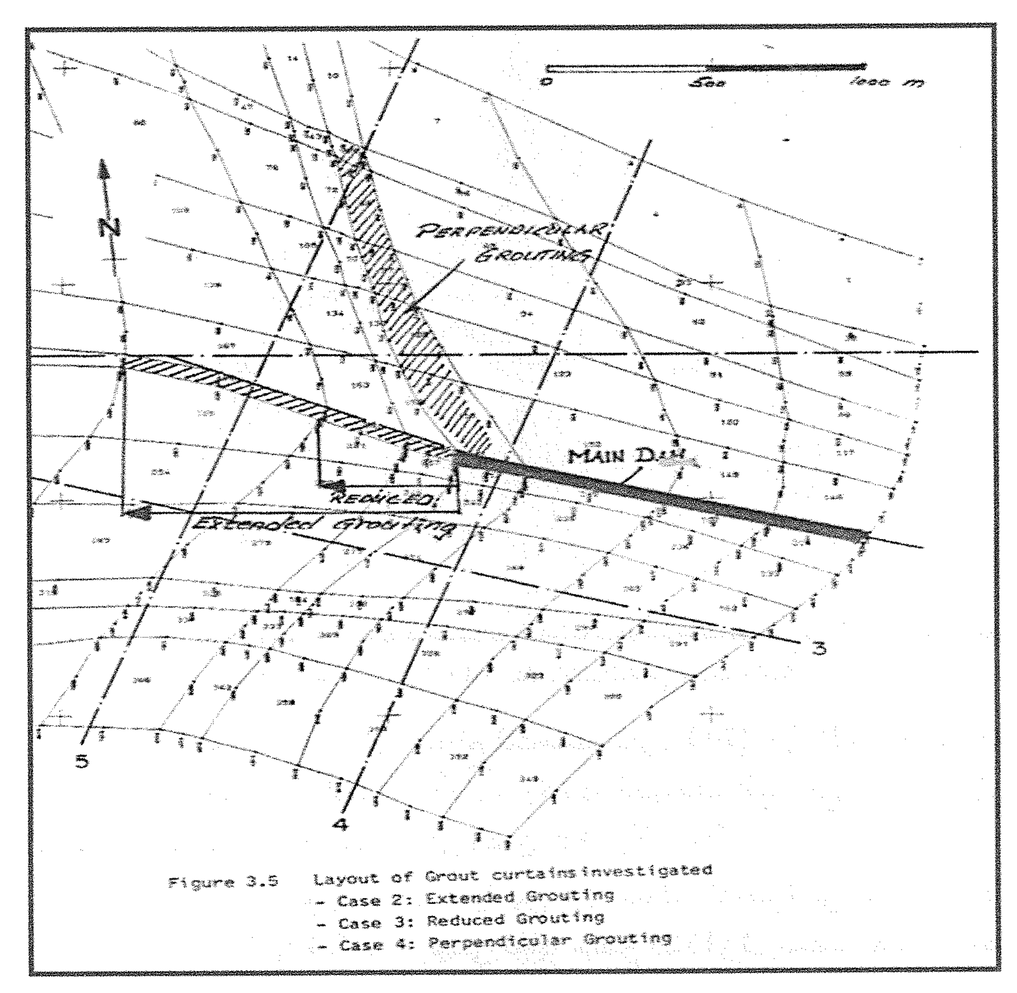
أما مسارات البدائل الثلاثة فكانت تتلخص بما يلي:

- ربط ستارة التحشية المقترحة مع طية وادي المالح بميل بسيط نحو الخزان وبطول يزيد قليلًا عن (400) مترًا (Case 3).
- مد الستارة على نفس استقامة محور السد واختراق طية وادي المالح وبطول كلي قدره (1100) مترًا (Case 2).
- مد الستارة باتجاه عمودي تقريبًا على محور السد في مسار موازي تقريبًا لمجرى نهر دجلة الأصلي، وتصل نهاية الستارة الفالق الممتد باتجاه (من شمال غرب إلى جنوب الشرق) الذي يمثل حافة طية وادي المالح الشمالية ويكون الطول الكلي (1400) مترًا (Case 4).

ويبين الشكل (3) مسارات البدائل الثلاثة المقترحة علمًا بأن البديل (Case1) هو بعدم إجراء أي معالجات، وبالطبع يمثل الحالة السلبية، لذا لم يؤخذ به كحل.

بينما درست الحالة (Case 5) بإنشاء مبازل سطحية، والحالة (Casse 6) بإنشاء مبازل عميقة.

والنتائج التي أعطتها الدراسة هي: أن البديل رقم (Case 2) بطول (400) مترًا (الأوسط الظاهر في الشكل) هو الأفضل من حيث الكفاءة الفنية، وكذلك من ناحية الكلفة الكلية، وهو المسار المبين في الشكل (3) والواقع بين البديلين الأخيرين.

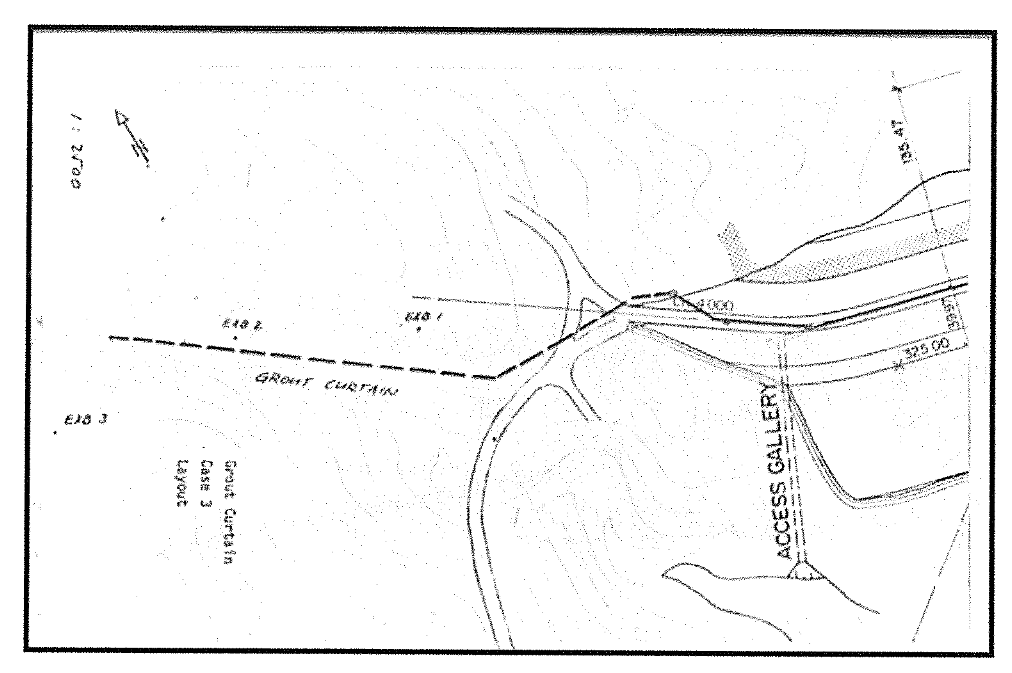


شكل 3: بدائل مسارات الستارة الثلاثة التي تمت دراستها

تم تنفيذ المسار في البديل الثاني المشار إليه مع مراعاة طوبوغرافية سطح الأرض كما في الشكل (4).

ويبين هذا الشكل أيضًا مواقع الثقوب الجيولوجية الاستكشافية التي تمت فيها قياسات (لوجون) للنفاذية والتي استخدمت مقاديرها كمدخلات للنموذج الرياضي الهيدروجيولوجي الذي تضمنته الدراسة.

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press /سد الموصل/ سحب ثالث



شكل 4: المسار المعتمد لامتداد ستارة التحشية في الجانب الأيمن

ولقد قسم طول الستارة إلى مقاطع للتحشية بطول (24) مترًا للمقطع الواحد أسوة بستارة التحشية في الجانب الأيسر، وكانت المسافات البينية في النسق الأولي (8) متر، وبذلك تكون المسافات في النسق الثلاثي (2) مترًا.

نفذت الستارة المذكورة بصفين متوازيين من صفوف التحشية من مقطع (123) وهو مجاور تمامًا لنهاية السد الرئيسي لغاية مقطع (132) ثم تستمر بصف واحد لغاية مقطع (139). تراوحت أعماق الستارة من (125) مترًا وحتى (135) مترًا تحت منسوب سطح الأرض خلال تراكيب طية وادي المالح العميقة وذلك بالنسبة لثقوب الصف الأول، وقد تحتم الحفر والتحشية لهذه الأعماق الكبيرة بسبب التواء التراكيب الجيولوجية نحو الأعلى نتيجة للعوامل التكتونية التي أدت إلى تكوَّن طية وادي المالح وبروزها نحو الأعلى، أما صفوف الصف الثاني فقد تراوحت أعماقها بين (90) مترًا و(60) مترًا للوصول إلى طبقة البوكسايت.

سبق تنفيذ هذه الستارة ـ كما في كافة الحالات الأخرى ـ حفر ثقوب جيولوجية استكشافية على مسار الستارة مع استرجاع اللباب وتنفيذ فحوصات (لوجون) لمعرفة نفاذية الطبقات الصخرية المختلفة وبالتالي تحديد عمق خط الكارست. وفي تقييم هيئة الإشراف على التنفيذ (MODACOM) لنتائج التحشية تم تدقيق مخرجات فحوصات (لوجون) في الثقوب الاستكشافية، ولوحظ نفاذيات عالية جدًا إلى عالية

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/

في الآبار الاستكشافية من (EXB-1) و(EXB-6) في الصخور الكلسية الدولوماتية فوق طبقة البوكسايت، وكذلك تحتها؛ حيث ترتفع هذه الطبقة لغاية منسوب (330) قريبًا من موقع البئر الاستكشافي (EXB-4)، ويبقى منسوب خط الكارست عميقًا للغاية في الجانب الأيمن في الاتجاه العمودي على اتجاه أو مضرب الطبقات الصخرية (Strike) ولا يصل مطلقًا إلى منسوب (330) حتى في الثقب الاستكشافي (EXB-6).

لقد استخدمت النتائج المستخلصة من هذه الثقوب الاستكشافية كمدخلات للنموذج الهيدروجيولوجي المنوه عنه وساعدت في تحديد طول الستارة بطول (408) متر حيث تكون طبقة البوكسايت في نهاية الستارة في منسوب (310) كما سبق بيانه. استعمل في تحشية هذه الستارة مزيج السمنت ـ البنتونايت، وقد سجلت استهلاكات عالية في الثقوب التدقيقية للتحشية الأساسية وخاصة بين المقاطع (123) و(130) حيث أنجزت الستارة بصفين من صفوف ثقوب التحشية ولم يتم توزيع حفر الثقوب التدقيقية بصورة منتظمة.

7 ـ التحشية التماسية (Contact Grouting)[34] وتحشية التقوية (Consolidation Grouting)

بالإضافة إلى بساط التحشية المنفذ تحت أساس اللب الأصم ـ الذي سبق بحثه ـ فإن أعمالًا أخرى بتحشية التقوية قد أجريت أيضًا من داخل نفق التحشية ورواق التحشية لتحقيق الأهداف التالية:

- ملْء الفجوات بين الصخور والخرسانة.
- تقوية الصخور حول رواق التحشية.
- غلق أي مسار محتمل لسريان مياه الرشح بين اللب الأصم وأساساته.
- تقوية الجزء العلوي من ستارة التحشية.

امتدت أعمال التحشية التماسية وتحشية التقوية على مسار رواق التحشية أي من مقطع التحشية (62) في الجانب الأيسر لغاية مقطع التحشية (111) أي في المحطة (3+970,75) في الجانب الأيمن.

كما امتدت باتجاه اليسار من نهاية رواق التحشية وبداية نفق التحشية في المقطع (61) وعلى طول هذا النفق الذي تم حفره خلال طبقة (F-Bed) الكثيرة التشققات والتصدعات ذات النفاذية العالية، ليستمر بعد ذلك وينتهي باتصاله برواق تحشية المسيل الموجود في قاعدة منشأ السيطرة في المقطع (54) في المحطة (1+918,75).

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press /سحب ثالث/ سد الموصل

واشتملت أعمال التحشية التماسية وتحشية التقوية في نفق التحشية: حفر وتحشية الثقوب بصورة مروحية، حيث تتكون المروحة الواحدة من ستة ثقوب ويفصل كل مروحة عن تلك التي تليها مسافة ثلاثة أمتار، ويختلف ميل الثقوب في المروحة الأولى عن ميلها في المروحة التي تليها وهكذا، ويتم حفر ثلاثة ثقوب من الثقوب الستة في الجانب الأيمن من النفق. أما الثلاثة الأخرى فتكون في الجانب الأيسر منه. وقد بلغ أقصى طول لهذه الثقوب (15) مترًا.

أما أسلوب الحفر والتحشية المتبع: فقد كان إنجاز حفر وتحشية الثقوب السفلى أولًا، ثم يلي ذلك حفر وتحشية الثقوب العليا، بينما كان تسلسل عملية الحفر والتحشية في الثقب الواحد بأن يتم أولًا حفر وتحشية المرحلة الأولى المجاورة للبطانة الخرسانية من أي ثقب وبطول (2) مترًا. واعتبرت هذه التحشية بمثابة التحشية التماسية المطلوبة لملْء أية فراغات بين البطانة الخرسانية والطبقات الصخرية المحيطة بالنفق. وبعد تصلب مزيج التحشية يتم حفر الثقب مجددًا لتجري تحشية الطول المتبقي منه حيث تكون هذه التحشية لأغراض التقوية. وجرى استعمال ضغط قدره (6) بار في تنفيذ التحشية التماسية. أما الضغط المستخدم لتحشية التقوية فكان (8) بار.

لقد استعملت في هذه التحشية خلطات مختلفة من مزيج (السمنت ـ بنتونايت) تراوحت بين المزيج الخفيف (نسبة السمنت/الماء = 0,25) إلى المزيج الثقيل (نسبة السمنت/الماء= 1)، وفي الحالات التي تجاوز فيها الاستهلاك (1000) كغم/متر تمت إضافة الرمل إلى المزيج الثقيل أعلاه.

أما في رواق التحشية الموجود في أسفل الخندق القاطع للسد والممتد من نهاية نفق التحشية في المقطع (62) في الجانب الأيسر لغاية المقطع (111) في الجانب الأيمن ـ وكما سبق بيانه ـ فقد كانت أعمال التحشية؛ التماسية وتحشية التقوية الشعاعية مشابهة لتلك التي أجريت في نفق التحشية أي متكونة من ثلاث صفوف من ثقوب التحشية في كل جانب من جانبي الرواق. وتمت بشكل مراوح شعاعية على طول مسار الرواق بمسافات فاصلة تساوي (3) أمتار، ويبلغ عمق كل ثقب من ثقوب التحشية في هذه المراوح (6) أمتار. وأطلق على الثقوب المائلة نحو الأسفل اسم (شوارب القط cat mustache).

أما تتابع عملية التنفيذ في كل ثقب من ثقوب التحشية؛ فيتم أولًا تحشية التقوية بأن يتم حفر الثقب كاملًا ثم يحقن من عمق (6) أمتار إلى عمق (2) مترًا، ويلي

ذلك التحشية التماسية في الثقب من عمق (2) مترًا لغاية السطح الخارجي للبطانة الخرسانية للنفق، حيث تثبت السدادة المطاطية (Packer) في الخرسانة عند التنفيذ.

ويعتمد ضغط التحشية المستعمل في العملية على الثقل المسلط من اللب الطيني على الرواق وحسب تقدم العمل في اللب والصعود به إلى مناسيب أعلى. وقد تراوحت ضغوط التحشية المستخدمة من (2) بار إلى (10) بار في تقييم نتائج أعمال التحشية استنادًا إلى كميات الاستهلاك من مزيج التحشية فإن معدلات الاستهلاك كانت عالية في تحشية نفق التحشية المار من خلال طبقة الصخور الكلسية (F-bed) الكثيرة التشققات، فقد تراوحت بين (1059,7) كغم/متر إلى (1488,4) كغم/متر وذلك في المقاطع من (54) لغاية (59)، إلا أن الاستهلاكات في المقطعين (60) و(61) كانت أقل من ذلك بكثير حيث إن التحشية كانت خلال تراكيب جيولوجية مختلفة تعود لسلسلة صخور المارل الأسفل المتكونة من المارل الطيني والبريشيا الطينية وصخور المارل الكلسية. وقد بلغ المعدل العام لكافة أعمال التحشية التماسية وتحشية التقوية في نفق التحشية ما مقداره (1041,2) كغم/متر.

أما بالنسبة لرواق التحشية فيمكن القول بأن معدلات الاستهلاكات على طول رواق التحشية كانت أقل من تلك على طول نفق التحشية وتراوح معدل الاستهلاك في المروحة الشعاعية الواحدة في الرواق بما فيها من ثقوب سواء أولية أو ثانوية أو ثلاثية بين (9,4) كغم/متر إلى (144,9) كغم/متر، أما المعدل العام لكافة أعمال التحشية بنوعيها التماسية والتقوية فقد بلغ (42) كغم/متر. ويمكن تفسير الفرق بين النفق والرواق بالاستناد إلى جيولوجية الطبقات الصخرية التي يمران من خلالها حيث إن الجزء الأعظم من الرواق من مقطع (63) لغاية مقطع (111) يمر من خلال طبقات من المارل والبريشيا بقيم نفاذية واطئة نسبيًا.

ويلاحظ أن سلسلة الصخور الطباشيرية التي تنكشف بين المقطع (105) والمقطع (110) لم يلحظ فيها نفاذية عالية كما هو متوقع وربما يعود السبب في ذلك إلى امتلاء التشققات والفجوات فيها بمواد طينية ناعمة وكذلك قد يعود السبب في استعمال ضغوط تحشية واطئة.

من خلال ما تقدم يمكن استخلاص جملة من الأمور المتعلقه بأعمال التحشية في سد الموصل، فقد ظهر وكما كان متوقعًا وجود ارتباط أقوى بين حجم هذه الأعمال وطبيعة التراكيب وتتابعها في أسس السد. كما أنه هناك خط فاصل

وواضح بين الطبقات العالية النفاذية في الأعلى وبين تلك الأقل نفاذية أو حتى المعدومة النفاذية أحيانًا في الأسفل ألا وهو خط الكارست المنوه عنه في ما ورد سابقًا.

إن خط الكارست هذا كما كشفت التحريات لا يمتد موازيًا للتراكيب الجيولوجية إنما يتبع مورفولوجية قعر النهر والأكتاف حيث عانت التراكيب أسفل قعر النهر من التجوية الطويلة تاريخيًّا لفترة طويلة. ويكون مستوى هذا الخط بصورة عامة على عمق أكبر في مقطع النهر والكتف الأيمن عن عمقه في الجانب الأيسر.

من وجهة نظر أعمال التحشية يمكن إدراج التراكيب التالية الأعلى نفاذية متسلسلة من الأسفل إلى الأعلى:

- تركيب: (جدالة ـ سنجار) تحت طبقة البوكسايت في الجانب الأيمن في المقاطع من (108) إلى (139).

- (الجريبي الكلسية) فوق طبقة البوكسايت في مقاطع مجرى النهر والكتف الأيمن من المقطع (86) إلى مقطع (139).

- طبقة البريشيا الجبسية (GB0) التي تمثل منطقه انتقالية (أي صخور جبسية مختلطة بالبريشيا الجبسية) في مجرى النهر والكتف الأيمن في المقاطع من (79) إلى (89) والمقاطع من مقطع (124) وإلى (132).

- (سلسلة الصخور الطباشيرية Chalky Limestone) في مجرى النهر والكتف الأيمن من مقطع (78) إلى المقطع (131).

- (طبقات الصخور الكلسية) المتداخلة مع سلسلة الصخور الطينية بين طبقتي (GB3) و(GB2)، وبين طبقة الصخور الكلسية (F-bed)، وطبقة البريشيا الجبسية (GB3) بصورة أساسية في الضفة اليسرى من المقطع (62) لغاية نهاية جسم السد في المقطع (16) واستمرارها في امتداد ستارة التحشية اليسرى من المقطع (150) لغاية المقطع (215).

- (طبقات البريشيا الجبسية GB) كافة بشكل طبقات انتقالية (صخور جبسية زائدًا بريشيا جبسية). إضافة إلى بعض العديسات من الصخور الجبسية المعزولة داخل الطبقات الطينية مما لها نفاذية عالية.

أما ما يمكن قوله عن أعمال التحشية المنصوص عليها في العقد ـ ونخص بالذكر تحشية ستارة التحشية ـ، فقد أنجزت تلك الأعمال كافة بصورة كاملة، وتجاوزت كمياتها ما ورد في جداول الكميات، وتم اعتماد الأسس والمعايير

التصميمية الدقيقة تلك الأعمال لكافة، وإن لم يتحقق قسم من هذه المعايير في نهاية العمل.

ولا بد هنا أن يسأل الكثيرون بعد إدراك كل هذا الجهد والاهتمام: **لماذا هناك إذن ـ ولغاية الآن ـ كل هذه المشاكل لحد الآن في أعمال تحشية سد الموصل؟**

للرد على هذا السؤال ـ وبقصد التوضيح ـ لا بد من القول: بأن المواصفات النهائية ـ وحتى الأسس التصميمية النهائية ـ في مثل هذه الأعمال لا يمكن أن تحدد بصورة دقيقة سلفًا كما هو الحال في الأعمال الخرسانية والأعمال الترابية، وإنما يتم فقط تحديد الإطار العام، كأن لا يتجاوز الرشح معدلات معينة، وتترك تفاصيل الأمر لكي يتم التوصل إلى المتطلبات النهائية خطوة خطوة وحسب الحالات التي تتكشف في باطن الأسس كلما تقدم العمل، ويتم عندئذ إصدار تعليمات موقعية إلى المقاول المنفذ من قبل الاستشاري المصمم ولكل حالة، وهذا ما تم عمله في تحشيات سد الموصل مع تردد الاستشاري في الكثير من الأحيان في إصدار التعليمات المناسبة في الوقت المناسب، مما استدعى الاستعانة بخبرات خارجية من شركات أخرى.

لقد كان موضوع تحديد الأسس التصميمية النهائية في الأقسام المختلفة من أعمال التحشية مدار بحث عميق وكثير من الأخذ والرد بين الاستشاريين ومجلس الخبراء العالمي للسد وبقية الخبراء الخارجيين، وكان المقاول المنفذ نفسه ذو خبرة واسعة وسمعة عالمية في مجال التحشية.

وكما هو واضح من تقارير اجتماعات مجلس الخبراء العالمي (راجع الملحق في نهاية الكتاب) نجد بأن القائمين على العمل لم يتوصلوا إلى الوصفة المتكاملة الملائمة لتحشية سد الموصل لسببين:

الأول: هو التعقيد الشديد وغير المسبوق فيما يتعلق بجيولوجية وطبيعة التراكيب الصخرية في الموقع والذي لا يشبه أي موقع آخر من مواقع السدود في العالم.

والثاني: عدم توصل التقنيات الحديثه لغاية ذلك الوقت ـ وربما لغاية الآن ـ إلى إنتاج المادة التي يمكن أن تحقن في مثل أسس سد الموصل فيكون لها من اللزوجة ما هو أقل من لزوجة الماء فتنفذ بسهولة خلال التشققات ذات الأبعاد المايكروية، وفي ذات الوقت يكون لها من سرعة التصلب ما يجعلها تتصلب فور نفوذها في تلك التشققات، وأن يكون لها من التماسك والكتلة ما يجعلها تقاوم سرعة وضغط جريان الماء المتدفقة في التكهفات الكبيرة، وأخيرًا لها من قوة التلاصق مع دقائق

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/

المواد الذائبة كمسحوق الجبسم ما يمكنها من عزل تلك الدقائق عن المحيط المائي ومنعها من الذوبان.

لقد أنجزت أعمال التحشية التعاقدية في السد في سنة (1986) لكنها فشلت في غلق كافة مسارات الرشح في الأسس للأسباب المذكورة سابقًا، وتركت مناطق مفتوحة في ستارة التحشية العميقة تحت السد الرئيسي أطلق عليها حينذاك وصف (الشبابيك) أو (النوافذ)، خاصة وأن العمل كان قد ازداد صعوبة بدرجة كبيرة بعد غلق مجرى النهر سنة (1985) والبدء بالخزن والتشغيل الأوليين؛ حيث كان العمل ينفذ تحت تأثير ضاغط مائي ارتوازي متصاعد. ومنذ ذلك التاريخ وحتى الآن بقيت أعمال التحشية مستمرة على صيانة ستارة التحشية العميقة لمنعها من التدهور والانهيار، وسوف يتم شرح هذا الموضوع مفصلًا في الفصل الثامن من هذا الكتاب.

إن موضوع الذوبان في الأسس ـ الذي هو أحد أسباب تدهور حالة ستارة التحشية ـ لا ينحصر في نطاق الستارة وحدها، إنما هو ظاهرة عامة في كافة صخور طبقات الأسس، حيث تم تأشير ذوبان وتآكل في تلك الصخور وانخفاض مؤشر النوعية (RQD)[(35)] لها سنة بعد أخرى.

8 ـ بيزومترات المراقبة في رواق التحشية (Inspection Piezometers)[(36)]

تناولت مناقشات مجلس الخبراء العالمي للسد في العديد من اجتماعاته مع الاستشاريين المصممين موضوع مراقبة سلوك وكفاءة ستارة التحشية العميقة تحت السد الرئيسي[7]، وتم في النهاية الاتفاق على زرع العديد من هذه البيزومترات من خلال رواق التحشية تحت السد الرئيسي للغرض المذكور.

ونظرًا للأهمية البالغة التي احتلتها هذه البيزومترات في موضوع مراقبة سلامة السد فلا بد والحالة هذه من إعطاء صورة واضحة عن كيفية تطور هذا الموضوع وأهمية هذه البيزوميترات.

لقد نوقش موضوع زرع خلايا كهربائية لقياس ضغط الماء المسامي في أسس السد ـ مقدم ومؤخر الستارة ـ وبمسافات فاصلة بين الخلايا من (30) إلى (50) مترًا لأول مرة من قِبَل مجلس الخبراء العالمي في الاجتماع الحادي عشر (تشرين الثاني 1982) من أجل إيجاد الوسائل لاكتشاف أي خلل في الستارة عند تشغيل السد، وعاد الموضوع إلى طاولة البحث في الاجتماع الثاني عشر (شباط 1983) دون التوصل إلى حل نهائي.

إلا أن الاستشاري المصمم قدم مقترحًا في الاجتماع السادس عشر (حزيران 1984) لتنفيذ أزواج من البيزومترات الأنبوبية المفتوحة من الأعلى تزرع في الأسس من داخل رواق التحشية في مقدم ومؤخر الستارة وبمسافات فاصلة بين كل زوجين متتاليين قدرها (72) مترًا مع احتمال تنصيف المسافات لاحقًا على أن تزود كل من هذه البيزومترات بأجهزة قياس الضغط نوع بوردن (Bourdon)[37]، وقد قبل المجلس اقتراح الاستشاري المصمم بتنفيذ بيزومترات أنبوبية بشرط تزويدها بخلايا كهربائية لقياس الضغط على أن تمد القابلوات الكهربائية إلى خارج الرواق لتسهيل القراءة والرصد. وأعيدت الكرة في المناقشات في الاجتماع المرحلي السابع عشر (كانون أول 1984) حيث تم الاتفاق على تنفيذ بيزومترات أنبوبية واستخدام نسيج واقي حول الجزء المثقب من رأس البيزومتر السفلي من نوع (Bidim)[38] ليعمل عمل المرشحات.

واستمر الاهتمام بالموضوع في الاجتماعات اللاحقة خاصة بعد ظهور المشاكل في تحشية بعض المناطق في ستارة التحشية، حيث اعتبر مجلس الخبراء بأن بيزومترات المراقبة في رواق التحشية يمكن أن تساهم بدرجة كبيرة في مراقبة سلامة السد وهو الأمر الذي لا زال ساريًا لغاية اليوم.

وكتب المجلس في تقرير الاجتماع الثامن عشر المنعقد في حزيران (1985) ما يلي:

«إن الهدف من تنفيذ أزواج من البيزومترات في رواق التحشية ـ كما سبق بيانه وتكراره في تقارير المجلس السابقة ـ هو بأنه في حالة تطور حالة من الرشح من خلال ستارة التحشية فإن انخفاض الفرق بين قرائتي الضاغط المائي بين مقدم الستارة ومؤخرها يؤشر إلى حصول حالة من جريان المياه ورشحها، حيث يقل الفرق كلما تطور الرشح وازداد الجريان، وبالتالي يعني زيادة في الذوبان في الطبقات الصخرية في الأسس ذات القابلية العالية لمثل هذا الذوبان. لذا، ولكي تكون هذه البيزومترات ذات فائده ملموسة يجب أن تكون المسافات بينها قصيرة لكي تتحسس مثل هذا الرشح قبل تطوره، وبالتالي تؤشر إلى ضرورة التدخل السريع لمعالجة الستارة وترميمها».

لذا، نرى أن المجلس يؤكد على أن لا تزيد المسافات البينية للبيزومترات بصورة عامة عن (36) مترًا، ويمكن أن تكون (18) مترًا في المواقع التي تكون فيها الأسس عالية النفاذية بموجب فحوصات (لوجون)، علمًا أن المقاول في ذلك

الحين كان قد انتهى من زرع (9) أزواج من البيزومترات فقط بين المحطتين (2+600) و(3+200) بفاصلة قدرها (72) مترًا بين هذه البيزومترات خلال الفترة من ديسمبر (1984) لغاية حزيران (1985). غير أن صيف سنة (1985) شهد نشاطًا ملحوظًا في حفر ونصب بيزومترات إضافية، فبلغ عددها ـ بموجب ما ورد في تقرير مجلس الخبراء الصادر عن اجتماعه العشرون ـ: (76) زوجًا من البيزومترات، بمسافات بينية (72) مترًا، و(36) مترًا، وحتى (18) مترًا، وحسب طبيعة الأسس في المواقع المختلفة.

وقد تم طوال تلك الفترة تسجيل قراءات البيزومترات في مقدم الستارة ونظرائها في المؤخر، وتمت قراءة أجهزة قياس الضغط بصورة يومية، ورسم النتائج بشكل منحنيات لبيان التغيرات التي تطرأ في فرق الضاغط المائي ومن ثم التدخل في تحشية الأجزاء التي تظهر انخفاض كفاءة الستارة.

استمر الحال على هذا الشكل حتى بعد مغادرة هيئة الإشراف على التنفيذ، وكذلك المقاول للموقع بعد انتهاء فترة الصيانة المنصوص عليها في العقد، حيث قامت إدارة المشروع بقراءة وتسجيل رصودات البيزومترات بصورة يومية، ورسم المنحنيات البيانية لها، وكذلك تشخيص مناطق الضعف التي تصيب الستارة من أجل التدخل لصيانتها.

وتتوفر لدى إدارة المشروع تقارير سنوية فيها خلاصات لهذه القراءات، كما لا تزال البيزومترات تحتفظ بأهميتها البالغة بالنسبة لسلامة السد لغاية اليوم. وسوف نأتي على شرح المزيد من التفاصيل حول طريقة تفسير نتائج قراءات البيزومترات واستنتاج كفاءة ستارة التحشية منها في الفصل الثامن المتضمن تفاصيل موسعة عن ستارة التحشية.

الهوامش

(1) **Differential Settlement:** Differential or uneven settlement occurs when the soil beneath a structure cannot bear the weights imposed. The settlement of a structure is the amount that the structure will "sink" during and after construction. Differential settlements become a big problem when the foundation settles unevenly. The more uneven the settlement is, the greater the problems are to the building's structure.

(2) **Bearing Capacity:** In geotechnical engineering, **bearing capacity** is the capacity of soil to support the loads applied to the ground. The bearing capacity of soil is the maximum average contact pressure between the foundation and the soil which should not produce shear failure in the soil.

(3) The reader is referred to note (1) of chapter 4 on "internal erosion".

(4) **Exit Gradient:** It is defined as the hydraulic gradient exerted on soil particles at the exit point of seepage water from under structure. If this exit gradient exceeds a certain safe value depending on the type of foundation soil, then soil particles will be dislodged causing piping. The exit gradient value in this case is called the critical exit gradient.

(5) **Relief well:** Also known as pressure relief wells or bleed wells, are drilled to reducing pore water pressures in confined aquifers or in stratified ground conditions. In excavation works they are used to lower the piezometric line below the level of excavation so the work may be done in relatively dry conditions. One other use is to install them at downstream of dams to reduce uplift pressure on the dam base by draining seepage water which is to be collected and disposed of. Relief wells are normally surrounded with filter material to stop soil particles migration and piping.

(6) **Foundation Grouting:** is the operation of applying under pressure of a grout which is thin mortar used for filling spaces (as the joints, cracks or cavities in the foundations of a dam or any other hydraulic structure); also: any of various other materials (as a mixture of cement and water or chemicals that solidify) used for a similar purpose in order to modify and improve the foundation for such purpose as improving the bearing capacity and/ or increasing its impermeability.

(7) **Consolidation Grouting:** In rock, consolidation grouting consists of injection of cement-based grout for the purpose of strengthening the rock mass by filling open fractures and thus eliminating a source of settlement. Incidental to this main purpose, consolidation grouting also serve to reduce the uplift potential beneath concrete dams by reducing the permeability. Generally done by drilling and grouting shallow holes on a grid pattern in the foundation area of concrete dams but may include "off-pattern" holes to treat selected geologic defects such as fracture or shear zones. The term is commonly and improperly used as a synonym for blanket grouting.

(8) **Grouting Blanket:** A procedure in which relatively closely spaced and usually shallow holes are drilled and grouted for the purpose of reducing the permeability of the upper portions of the bedrock beneath the site of an embankment dam. Generally but not necessarily done either on a grid pattern or in rows parallel to the grout curtain. Commonly includes "off-pattern" holes to treat selected geologic defects such as fracture or shear zones. Sometimes confused with or improperly considered to be synonymous with consolidation grouting.

(9) **Hydration:** This is the conversion of Anhydride (Caso4) to Gypsum (Caso4.2-H2O) when it is exposed to water. This process is accompanied by volume increase of about 50% that destroys any planar features in the beds. The reverse is also possible where anhydride can be created when Gypsum is dehydrated under pressure.

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press /سحب ثالث سد الموصل/

(10) **Ascending Stage Grouting:** In the DESENDING STAGE grouting, drilling and grouting are executed alternatively in stages of 3 to 5 m in the downward direction as shown in Fig.1. Each next stage is drilled and grouted after re-drilling the hole through the already grouted previous upper stages.

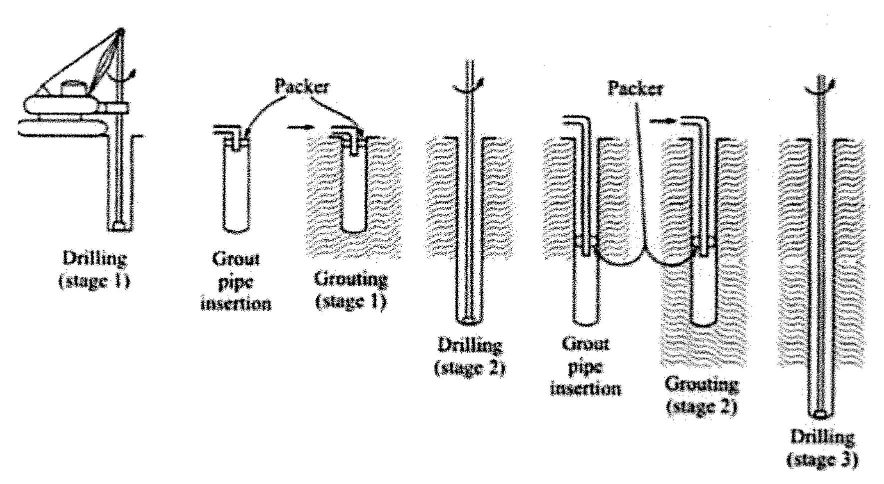


Figure 1

(11) **Descending Stage Grouting:** In the ASENDIND STAGE grouting process shown in Fig.2 Work is executed in a reverse direction. The grout hole is drilled to the full depth in one operation, subsequently the grout pipe is lowered to the deepest segment of the hole and the annular space sealed using a packer. Grouting is carried out at higher pressure. Thereafter, the grout pipe and the packer are raised in stages of 3 to 5 m.

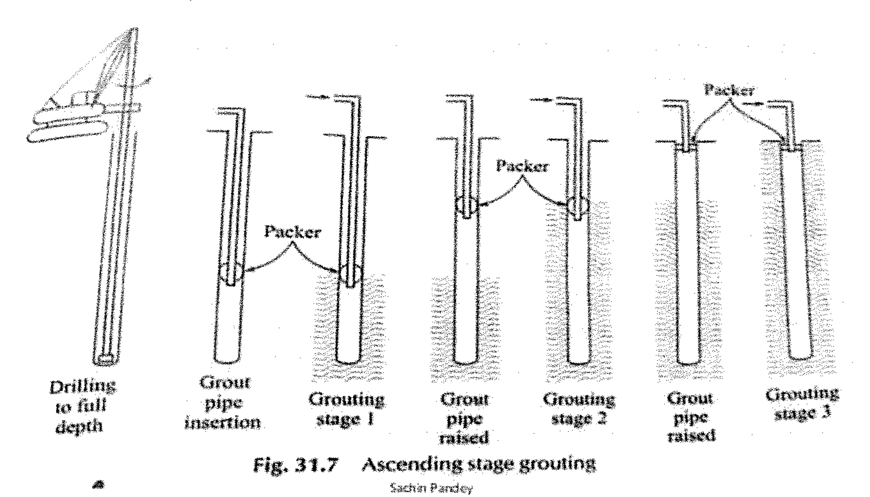


Figure 2

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/

(12) **Grout Mix: Grout:** In soil or rock grouting, a material injected into a soil or rock formation to change the physical characteristics of the formation. Grouts may be cementitious, chemical solutions, or of a variety of resinous origins. **Grout Mix:** Also called the grout formulation, grout mix is a descriptive term referring to the types and relative proportions of the constituent ingredients of a given grout.

(13) **Base:** Main component in a grout system. Also, when referring to pH, an alkali. So **cement based grout** is when cement is the main component of the grout mix.

(14) **Stable: Stable Grout:** A suspension grout that exhibits little or no settlement, bleed, or shrinkage. Historically it is defined as a grouting mix with a bleed less than 5% in 2 h. However, lesser percentages of bleed means enhanced stability are readily achievable with contemporary multicomponent grout formulations.

(15) **Bentonite:** Clay composed principally of minerals of the montmorillonite group, characterized by high absorption and a very large volume change with wetting or drying. Commonly used as an additive in cement-based grouts to improve its viscosity and stability.

(16) **Bleed**: Separation of excess water from a particulate suspension grout as a result of settlement. This is commonly expressed as a percentage of the initial volume of the mixed grout.

(17) **Viscosity**: The internal fluid resistance of a substance, such as grout, which makes it resist a tendency to flow.

(18) **Superfine cement**: Cement that has Blain **fineness** >4500 cm2/ gm., particles remaining on sieve no.220 < 1% **Blaine Fineness:** A measure of the fineness of powdered materials such as cement and pozzolans. It is usually expressed as square centimeters of surface area per gram.

(19) **Curtain Grouting:** Injection of grout into a subsurface formation in such a way as to create a zone of grouted material transverse to the direction of the anticipated water flow.

(20) **Grout Gallery:** An opening or passageway within and or beneath a dam, and/or in the abutments of a dam, utilized for grouting operations. Depending upon the type and configuration of the dam and on the foundation geologic conditions, may also serve as a drainage and inspection gallery.

(21) **Split Spacing Grouting:** A grouting sequence in which initial (primary) grout holes are relatively widely spaced and subsequent grout holes are placed midway between previous grout holes to "split the spacing." This process is continued until one or more specified criteria-such as a reduced grout acceptance, maximum allowable grout pressure, increased resistance or blow count, or a reduction in grout take to a specified value-are achieved.

(22) **bar**: is equivalent to 0.9869 atm., and to 10.1971 kg. - force/ square centimeter.

(23) **Grout Mix:** Also called the grout formulation, grout mix is a descriptive term referring to the types and relative proportions of the constituent ingredients of a given grout.

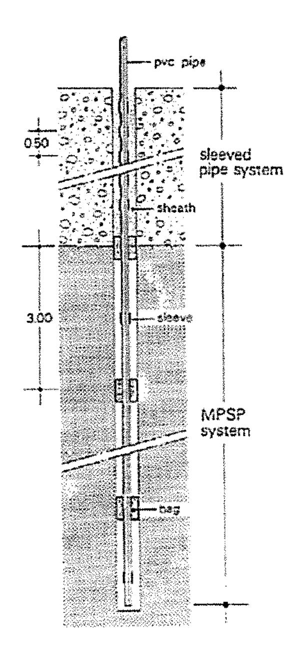
z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press /سحب ثالث/ سد الموصل/

(24) **Grout Take:** Volume of grout injected. May refer to the total volume injected in an interval within a hole, in an entire grout hole, in a unit length or area of a grout curtain or in the rock formation or soil mass as a whole. Also, may be expressed in terms of amount of grout injected per unit length of grout hole or curtain. Sometimes the volume referred to is the total volume of cement or solids rather than the fluid volume. However, in past US rock grouting practice the volume of cement or solids rather than the fluid volume has more commonly been used in the calculation of unit take. **Frequently the Grout take is expressed in terms of weights rather than volumes as in the case of Mosul Dam.**

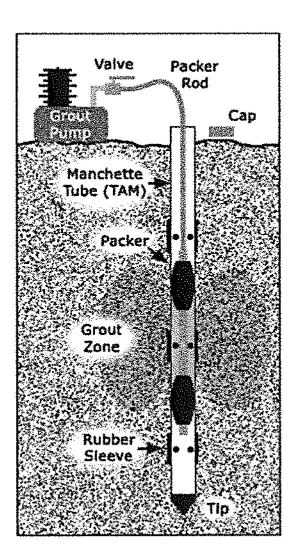
(25) **Stage Grouting:** Sequential grouting of a hole in separate steps or stages in lieu of grouting the entire length at once. Holes may be drilled to the final planned depth and grouted in ascending stages using packers, or may be incrementally drilled in downward stages and be grouted from' the collar of the hole or with **packers** set in a previously grouted stage.

(26) **Packer:** A device which, when inserted into a grout hole, acts to prevent return of the grout around the injection pipe during injection. Usually an expandable device, actuated mechanically, hydraulically, or pneumatically.

(27) **(M.P.S.P) Multiple Packer Sleeve pipe system:** In this system of grouting the grouting tube is retained and centralized in each borehole by collars which are made of fabric bags inflated in situ with cement grout. These collars are positioned along each grouting pipe either at regular intervals (say 3-6m) or at irregular intervals to ensure intensive treatment of special or particular zones (See shaded area in figure).



(28) **A Manchette tube** is a PVC or metal pipe in which rubber sleeves cover holes that are drilled in the pipe at specific intervals. The tubes are inserted into holes that have been bored into the "work area" (soil, concrete, etc.) known as the "grout zone". Grout is pumped to a packer that has been slid into the tube. Seals on the packer force the grout through the holes in the tube, past the flexible rubber sleeve, and into the grout zone to help stabilize and/or seal it. See the figure below.



(29) **Finissage**: A French term commonly used in grouting practice denoting "finishing Grouting".

(30) **Bentonite Gel**: In Bentonite Solution when the Concentration is high enough (about 60 grams of bentonite per liter of suspension), then this suspension begins to take on the characteristics of a **gel** (a fluid with a minimum yield strength required to make it move).

(31) **Silica gel** is a **granular, vitreous, porous** form of **silicon dioxide** made synthetically from **sodium silicate**. Silica gel contains a nano-porous silica micro-structure, suspended inside a liquid.. It is a naturally occurring mineral that is purified and processed into either granular or beaded form. As a **desiccant**, it has an average pore size of 2.4 nanometers and has a strong affinity for water molecules.

(32) **Refusal:** A rate of grout take that is low or zero at the maximum allowable injection pressure for the grout hole or grout injection stage. (The "maximum allowable injection pressure" called the "Refusal Pressure") commonly is based on some "rule of thumb" that takes into account the depth of the top of the grouting stage beneath the surface or the shortest distance from that stage to a free face.

(33) Optimally, it will be based on the results of extensive pressure tests during a test grouting program, or upon the strength of the rock mass as otherwise determined,

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press /سحب ثالث/ سد الموصل/

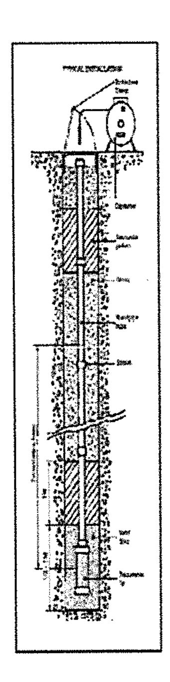
and is the pressure which exceeded may cause hydrofracture or ground surface displacement.

(34) **Contact Grouting**: The term 'Contact grouting' can be defined as 'Filling, with cement grout, any voids existing at the contact of two zones of different materials', e.g., between a concrete tunnel lining and the surrounding rock. The grout operation is usually carried out at low pressure.

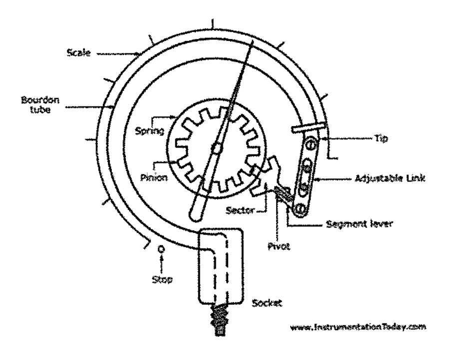
(35) **RQD**: The rock quality designation (RQD) is a commonly used index for the description of rock mass fractured state. It was initially proposed by Deere (1963) as an index of assessing rock quality quantitatively and it has since then been the topic of various assessments mainly for civil engineering projects. Its application has also been quickly extended to other areas of rock mechanics, and it has become a fundamental parameter in geotechnical engineering (e.g. Hoek& Brown 1980; Hoek and Bray 1981). The success of the RQD is due, in large part, to its simple definition, which is the ratio (percentage) of intact core pieces longer than 10 cm over the total drilling length. However, this index is affected by a number of known limitations. For instance, its value can be different for a given location when obtained from cores with different drilling orientations. In addition, the RQD may be affected by the rock strength and core size.

(36) **A piezometer:** in geotechnical engineering is a device which measures the pressure (more precisely, the **piezometric head**) of **groundwater** at a specific point. A piezometer is designed to measure static pressures, and thus differs from **apitot tube** by not being pointed into the fluid flow. The first piezometers in **geotechnical engineering** were open wells or standpipes (sometimes called **Casagrande piezometer**) installed into an **aquifer**. A Casagrande piezometer will typically have a solid casing down to the depth of interest, and a slotted or screened casing within the zone where water pressure is being measured. The casing is sealed into the drill hole with clay, bentonite or concrete and the slotted part is surrounded with filter material. In an unconfined aquifer, the water level in the piezometer would not be exactly coincident with the **water table** especially when vertical component of flow velocity is significant. In a **confined aquifer under artesian conditions,** the water level in the piezometer indicates the pressure in the aquifer, but not necessarily the water table. Piezometer wells can be as small in diameter as 5 cm diameter which is common in standpipe piezometer. Piezometers in durable casings can be buried or pushed into the ground to measure the groundwater pressure at the point of installation. In some cases they are provided at their tips with pressure gauges in the form of electric cells (transducer) which can be vibrating-wire, pneumatic, or strain-gauge in operation, converting pressure into an electrical signal. These Piezometers are cabled to the surface where they can be read by **data loggers** or portable readout units, allowing faster or more frequent reading than is possible with open standpipe Piezometers.

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press /سحب ثالث/ سد الموصل



(37) **Bourdon gauges**: are known for their very high range of differential **pressure measurement** in the range of almost 100,000 psi (700 MPa). It is an elastic type pressure transducer. The basic idea behind the device is that, cross-sectional tubing when deformed in any way will tend to regain its circular form under the action of pressure. The bourdon pressure gauges used today have a slight elliptical cross-section and the tube is generally bent into a C-shape or arc length of about 27 degrees. The detailed diagram of the bourdon tube is shown below.



Bourdon Tube Pressure Gauge

(38) **Bidim:** is a nonwoven needle-punched continuous filament polyester **geotextile** used in contact with the in applications of civil and **geotechnical** engineering. In geotechnical works they are used for prevention of the mixture of soil and other materials andas filters for the retention of soil or other particles subjected to hydrodynamic forces allowing the passage of liquid through the geotextile.

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/

References / المصادر

[1] Mosul Dam Board of Experts. "Foundation Excavation and Dam stability". Reports of meetings. No.8, October 1981, No. 10, June 1982, No. 11, November 1982. No. 12, February 1983. No. 13, June 1983.

[2] Saddam Dam (Mosul Dam) Project Main Scheme-Final Report & As Built Drawings-Volume I. Swiss Consultants Consortium December, 1989.

[3] Saddam Dam (Mosul Dam) Project Main Scheme-Final Report & As Built Drawings-Volume IIA. Swiss Consultants Consortium December, 1988.

[4] Mosul Dam Board of Experts. "Summary of Findings-D7. Blanket Grouting" Report of meeting. No.15, February 1984.

[5] Mosul Dam Board of Experts. "Points of Recognition-11.4 Checking of Blanket Grouting". Report of Meeting No.20, October 1985.

[6] Swiss Consultant Consortium. "Mosul Dam Project Hydrogeological Study on right Bank". June, 1984.

[7] Mosul Dam Board of Experts. "Instrumentation and Piezometers". Reports of 11th meeting, November. 1982. 12th meeting, February. 1983.16th meeting, June 1984. 17th meeting, December. 1984, 19th Meeting, June 1985. 20th meeting, October 1985.

الفصل السابع

الرشح والخسفات الأرضية في سد الموصل

1 ـ المقدمة

تعد مشكلة الرشح وتكون الخسفات الأرضية في سد الموصل من أهم وأخطر المشاكل التي تعاني منها استقرارية السد. وترتبط هاتان الظاهرتان بالحالة الجيولوجية لأسس السد ووجود ظاهرة الكارست القديمة في هذه الأسس وإلى تطور هذه الحالة بدرجة كبيرة بعد الملْء الأوَّلي للخزان، ومن ثم تسليط ضغوط هايدروستاتيكية جديدة عالية عليه، وبالتالي التعجيل بعملية ذوبان الصخور الجبسية والصخور الكلسية وفتح مسالك جديدة للجريان. كل ذلك ساعد ويساعد على التردي المستمر للطبقات الصخرية المكونة لهذه الأسس.

تم بحث الطبيعة الجيولوجية لأسس سد الموصل بإسهاب في الفصل الثاني، كما تمت الاستفاضة في شرح انعكاسات ذلك على معالجات الأسس في الفصل السادس، حيث يتبين بأن تلك المعالجات لم تتوصل إلى تحقيق الأسس التصميمية المطلوبة لستارة التحشية الرئيسية تحت السد الرئيسي بصورة كاملة في العديد من المقاطع في أعماق مختلفة، وبالتالي عدم غلق مسارات الرشح في تلك المقاطع بصورة كاملة وأمينة.

بالإضافة إلى ما تقدم، لم تفلح أعمال الصيانة المستمرة في ستارة التحشية المذكورة طوال السنوات الماضية في تحقيق هذا الهدف، حيث إن غلق مسار ما وملْء تكهفات للذوبان في موقع محدد بالعمق سرعان ما يؤدي إلى فتح مسالك رشح أخرى وتكوّن تكهفات جديدة في مواقع مجاورة أو قريبة. وفي هذا الصدد، يجب أن لا ننسى بأن حركة المياه الأرضية مؤخر السد قد ساعدت على ظهور خسفات أرضية كثيرة في المؤخر، منها التي انكشفت على سطح الأرض ومنها ما بقي مخفيًّا، ولم تفلح الجهود إلى الآن لتحديد مواقعها، وهذه الأخيرة تعتبر الأشد خطرًا على سلامة السد بسبب الانهيار المفاجئ لسقوفها دون سابق إنذار، وانكشافها على السطح إذا ما كانت قريبة منه، أو في حالة تكونها في أعماق تحت

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/

الأسس، فإن انهيار الطبقات الصخرية التي تكوّن سقوف تلك الفتحات يؤدي إلى هبوط الطبقات العلوية من الأسس وخلخلتها؛ كل هذا يؤشر إلى تردي وضعية حالة الأسس المستمرة وانخفاض مؤشر نوعية الصخور (RQD)[1] والذي سيتم تفصيله في هذا الفصل.

ويتطلب الأمر أولًا وقبل كل شيء فهمًا أكثر لموضوع الكارست أو تكهفات الأسس في طبقات الصخور الجبسية والكلسية وخواص ذوبانهما، للتعرف على وضعية سد الموصل بصورة أفضل.

2 ـ أصل وخواص الصخور الجبسية والصخور الكلسية في أساسات سد الموصل

سبق وأن بيّنّا في الهامش (1) من الفصل الثاني، بأن الصخور الجبسية تنتمي في الأصل إلى صنف المتبخرات (Evaporites) من حيث كيفية ترسيبها في العصور الجيولوجية. وكثيرًا ما نرى بأن طبقات الصخور الجبسية السميكة ذات اللون الأبيض بسبب صغر بلوراتها المتناهي تكون عادة متخللة مع طبقات من الصخور الكلسية والصخور الطينية كما هو الحال في تكوين الفتحة (الفارس الأسفل) السائد في منطقة الموصل وما حولها. فعند تفاعل الأوكسجين (O_2) الذائب بالماء مع غاز ثاني أوكسيد الكبريت (H_S) المتواجد في داخل تكهفات الطبقات الكلسية يتكون حامض الكبريتيك الذي يعمل بدوره على إذابة المزيد من الصخور الكلسية المتكونة أساسًا من كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) وزيادة التكهفات أو الكارست وإنتاج كبريتات الكالسيوم المائية أو مادة الجبسم.

أما صخور الأنهايدرايت الداكنة اللون نسبيًا، فتنتج عادة عند فقدان الجبسم لماء التبلور بفعل العوامل الطبيعية من ضغط وارتفاع بدرجة الحرارة لكن الأنهايدرايت يبقى ذو ألفة شديدة (Affinity) مع الماء حيث يتحول مرة أخرى إلى جبسم حال تعرضه للماء وامتصاصه له، ويعتبر هذا الأمر المرحلة الأولى لذوبانه، حالُه في ذلك حال الجبسم.

إن النسب الوزنية في الجزئية الواحدة من الجبسم هي (32,5%) كالسيوم و(46,6%) من الكبريتات و(20,9%) من الماء. وقد تحتوي الصخور الجبسية على بعض الشوائب كمركبات الحديد أو بعض المعادن الطينية مما قد يغير من لونها الأبيض إلى ألوان أخرى. وتمتاز الصخور الجبسية بهشاشتها حيث لا يتجاوز معدل صلابتها درجتين حسب مقياس موهز (Mohs)[2] المكون من (10) درجات، بينما يبلغ وزنه النوعي (2,3).

ولعل أهم خواص الصخور الجبسية المؤثرة في المنشآت الهيدروليكية ومنها سد الموصل هي خاصية الذوبان، حيث تتراوح قابلية الذوبان (Solubility) من (2gm/liter) إلى (2.5gm/liter) في درجة حرارة (25C°)، ويقابل ذلك (2000 ـ 2500) جزء بالمليون. بمعنى أن محلول الجبس مع الماء يكون مشبعًا عند هذا التركيز في درجة الحرارة هذه، ولا يمكن إذابة أي كمية إضافية منه بعد ذلك. وهو ما حاولت أعمال التحشية في سد الموصل تحقيقه بغلق كافة مسارات ومسالك الرشح في الأسس إلى الدرجة التي يتحقق فيها تشبع محلول الجبس المذاب وبالتالي توقف عملية الذوبان، وقد أخفقت في تحقيق ذلك، كما سبق شرحه في الفصل السادس بسبب وجود الصخور الجبسية المتشظية (Brecciated gypsum) التي قاومت عمليات التحشية، مما يعني استمرار ذوبان الصخور الجبسية بصورة دائمة مع تردي واضح في الأساسات[1][2].

لقد تأخر الاهتمام بدراسة تأثير وجود الصخور الجبسية وآثار ذوبانه السلبية في أساسات المنشآت الهيدروليكية إلى أواخر السبعينيات من القرن الماضي، ولعل هذا يفسر الأسباب التي جعلت الإستشاريين الذين قدموا دراساتهم عن سد الموصل لا يولون الاهتمام الكافي لهذا الأمر. ويمكن اعتبار الدراسة التي قام بها (A.N. James and R.R. Lupton)[3] التي نشرت سنة (1978) رائدة في هذا المجال. فمن خلال دراسة حالات العديد من أسس السدود التي تأثرت بذوبان الصخور الجبسية والأنهايدرايت وبالتالي حصول تكهفات وهبوط في تلك الأسس، تمكن الباحثان من استخلاص عدة مؤشرات كمية ونوعية لهذه الظاهرة، كما تم إيجاد معادلات للتنبؤ بمعدلات الذوبان المتوقعة في مثل هذه الصخور بما يسمح باتخاذ إجراءات التحشية لتقليل الرشح وتشبع محلول الجبس ومن ثم إيقاف الذوبان ـ كما هو مبين سابقًا ـ، وبالتالي منع تردي حالة الأسس.

غير أن البحث المذكور يؤكد على أنه في حالة وجود مدملكات في الأسس مادتها الرابطة من الجبسم، أو حتى وجود الصخور الجبسية المتشظية (Brecciated gypsum) وكما هو الحال في سد الموصل، فإن تلك الإجراءات قد تكون غير مجدية.

وفي سنة (1980) تم نشر بحث آخر حول تصاميم السدود المقامة على أسس من صخور ذات القابلية العالية للذوبان ومن قبل الباحثين (A.N. James and I.M. Kirkpatrick)[4]، وتم تشخيص أربعة أنواع من الصخور ذات القابلية العالية

للذوبان بالماء وهي: الجبسم، والأنهايدرايت، والصخور الكلسية (كاربونات الكالسيوم)، والهالايت (الملح الصخري المتكون من كلوريد الصوديوم). وأكد الباحثان في هذا البحث مجددًا على مخاطر الذوبان في أسس السدود من حيث زيادة حجم التكهفات ومسالك الرشح والهبوط في الأسس.

إن معادلة الذوبان التي تم التوصل إليها في هذين البحثين هي:

$dM/dt = KA(Cs-C)^{\theta}$

dM/dt = Rate of dissolution with time

K = the dissolution rate

Cs = the solubility of rock

C = the instantaneous concentration of dissolved rock component in the flowing water

A, θ, have values of 2, for anhydrite. 1 for limestone, gypsum and halite

ويمكن الرجوع إلى البحث الذي نشره الباحثان (A.N. James and K.E. Epworth)[5] للاطلاع على المعالجات الحسابية لهذه المعادلة من أجل إيجاد العلاقة بين تغير معدل سرعة توسع مسلك من مسالك الرشح مع التركيز الملحي لمحلول المادة الصخرية المذابة في الأسس، وكذلك درجة تشبع المحلول لتلك المادة أي قابلية ذوبانها.

ويمكن إجمال بعض الاستنتاجات التي وردت في البحث المذكور والتي لها علاقة بموضوع بحثنا عن سد الموصل بما يلي:

1 ـ **إن المياه الجوفية التي تتسرب تحت أي سد وحول أكتافه تكون في البداية** ذات نوعية مشابهة لمياه النهر، ولكن معدّلة بعض الشيء بوجود دقائق من الرسوبيات المعدنية والبيولوجية، وكثيرًا ما تكون ذات درجة حرارة تنخفض متدرجة بالعمق. لكن مَلْء الخزان، يؤدي إلى إذابة المواد والغازات القابلة للذوبان في الأسس، بينما تعمل الرسوبيات الدقيقة إلى تبطين الخزان بعض الشيء وقد تقلل من الرشح. ولكن حتى عندما يقل معامل النفاذية بسبب هذه الرسوبيات عن (10^{-8} متر/ثا)، فإن كمية الرشح سوف تكون بحدود (20000 متر^3/يوم) تحت تأثير ضاغط مائي لا يتجاوز (20) مترًا، وتكون الأسس الحاوية على طبقات من الصخور الجبسية والأنهايدرايت أو الصخور الكلسية والهالايت معرضة للمزيد من الذوبان.

2 ـ **بالنسبة للصخور الجبسية والأنهايدرايت،** فإن ذوبان هاتين المادتين يتأثر كثيرًا بوجود أملاح أخرى ذائبة مصاحبة في المحلول، حيث يزداد هذا الذوبان إلى

حده الأقصى بوجود (3,5%) من كلوريد الصوديوم، ويقل هذا الذوبان كلما ازدادت نسبة كلوريد الصوديوم عن هذا الحد. كذلك يتحول الأنهايدرايت الصلب إلى صخور جبسية صلبة في المحلول نفسه مع حصول تمدد حجمي. ونتيجة لهذا التحول فإن جزيئة الأنهايدرايت تكتسب جزيئتين من الماء عند هذا التحول، ويعتمد هذا التحول على فرق درجة الذوبان بين المادتين.

لقد سبق وبيّنّا أنَّ أحد الأسباب من ضمن أسباب أخرى لتهشم وتكسر طبقة الصخور الكلسية (F-Bed) في أسس سد الموصل في الجانب الأيسر هو تمدد طبقة الأنهايدرايت الموجودة تحتها.

3 ـ **فيما يتعلق بالصخور الكلسية**، فإن معدلات الذوبان لكربونات الكالسيوم/ المغنسيوم في الماء الصافي بتركيز ثابت لثاني أوكسيد الكاربون لا تبدو متغيرة بصورة كبيرة، ولكن ذوبان الكالسايت يتأثر كثيرًا عند تغير نسبة ثاني أوكسيد الكربون. وكما أثبت الباحثون، فإن تأثر درجة ذوبان كربونات الكالسيوم المكونة للصخور الكلسية يتأثّر بدرجة حامضية الصخور الجبسية المتشظية (Brecciated gypsum) أو قاعدية المحلول (pH) وكذلك مع المحتوى من أيون الكالسيوم، بالإضافة إلى كمية المواد الصلبة الكلية المذابة ودرجة الحرارة، وتتفاعل كل هذه العوامل لتزيد أو تقلل من ذوبان الصخور الكلسية.

وفي الخلاصة؛ يمكن القول: إن من الممكن لأي تشققات أو فواصل موجودة في الصخور الذائبة في أسس أي سد أو أكتافه أن تتسع نتيجة لرشح المياه من خلالها وقد يصل الأمر في ذلك إلى حالات غير مقبولة ما لم تتم معالجة تلك المسالك بغلقها وقطع دابر الرشح خلالها.

وفي العادة، يمكن اللجوء في الكثير من الأحيان إلى أعمال التحشية، إذا سمح التركيب الجيولوجي في الأسس بذلك وعدم وجود البريشيا أو المدملكات الجبسية التي سبق التنويه عنها.

في حالة سد الموصل، لم يدرك الاستشاري المصمم في ذلك الحين كل هذه الحقائق عن ذوبان الصخور الجبسية وتأثيرات البيئة الجيولوجية لأسس السد. ونعتقد أيضًا، بأنه ذهب إلى الحل المتضمن إنشاء ستارة التحشية اختصارًا التزامًا بوقت التنفيذ، حيث يمكن العمل على إنشاء الستارة في مقطع النهر من خلال رواق التحشية وبصورة مستقلة عن إنشاء الإملائيات في مقطع النهر.

أما في الحالة البديلة، فقد كان بالإمكان إنشاء جدار قاطع (Diaphragm) في

مقطع النهر من منسوب القعر على أن يتم إضافة سنة أخرى على برنامج التنفيذ. وفي مثل تلك الحالة، فإن عمق الجدار كان من المفروض أن يكون بحدود (100 ـ 140) مترًا وكانت تقنيات حفر وإنشاء مثل هذا الجدار متوفرة في ذلك الوقت.

أما إنشاء مثل هذا الجدار القاطع الآن وهو من ضمن الحلول المطروحة حاليًّا كحل دائم لمشكلة الرشح والذوبان فإنه يحتاج إلى تقنيات ومعدات للحفر لم يتم تطويرها إلى الآن من أجل تنفيذ الجدار إلى عمق (240 ـ 250) مترًا من قمة السد مع كل ما يعنيه ذلك من مخاطر على بنية السد ومن كلفةٍ أقل ما يقال عنها بأنها عالية جدًّا.

3 ـ تطور الرشح والذوبان في سد الموصل

بوشر بغلق مجرى النهر وتحويل الجريان إلى أنفاق التحويل في صيف (1985)، وتسارعت أعمال الإملائيات في جسم السد في مقطع النهر للوصول إلى مناسيب آمنة في السد لاستقبال فيضان (1986) حسب الخطة الموضوعة. وتضمنت أعمال التحويل تنفيذ سداد للغلق (Coffer Dams)، وهو سد الغلق رقم (5) في المقدم وسد الغلق رقم (6) في المؤخر، وعزل المنطقة المحصورة بينهما للقيام بتنفيذ إملائيات السد الرئيسي، كما نفذ سد الغلق رقم (4) لحماية حفريات منشأ مذب المسيل لأغراض التنفيذ.

وفي الوقت الذي أصبح فيه سد الغلق رقم (5) جزءًا من إملائيات السد الرئيسي، تم رفع منسوب سد الغلق رقم (6) الذي يبعد مسافة (400) مترًا عن ستارة التحشية لكي يصبح ارتفاعه (15) مترًا، واستخدم لاحقًا كحوض لقياس كميات الرشح من خلال ستارة التحشية في مقطع النهر.

أما سد الغلق رقم (4)، فقد استغل بصورة وقتية أيضًا خلال فترة تحويل مياه النهر من خلال الإنفاق لقياس كميات المياه الراشحة إليه من الجانب الأيسر، علمًا بأن هذا السد سينغمر انغمارًا حال غلق الإنفاق وتشغيل منشأ المنفذ السفلي عند الإملاء الأولي للخزان.

ظهرت بوادر الرشح الأولية من ستة عيون رئيسية في مناسيب مختلفة وبجبهة طولها (1,5) كيلومتر في الجانب الأيسر من مؤخر السد حال ارتفاع منسوب الخزان إلى مستوى قاعدة السد في هذا الجانب، كما تسربت مياه رشح أخرى من الجانب الأيسر إلى داخل السد الواقي رقم (4) تحت منسوب (260) مترًا فوق سطح الأرض.

وتوقع جهاز الإشراف اليومي على العمل (MODACOM) الإمكانية العالية لحصول رشح مماثل من تحت قاعدة السد في قعر النهر. وأدرك الجميع ضرورة مراقبة كافة تصاريف الرشح سواء من العيون السطحية أو العيون المتدفقة أمام السد الوقتي الواقي رقم (4) واستغلال السد الواقي الوقتي رقم (6) لقياس الرشح من قعر النهر كما وسبق ذكره. إضافة إلى جمع نماذج المياه من أجل قياس تركيز الأملاح الذائبة فيها وقياس درجات حرارة هذه المياه لمراقبة حالة الذوبان في الأسس وتخمين أعماق مصادرها.

شارك المهندسون في جهاز الإشراف اليومي من مهندسي شركة انركوبروجكت اليوغوسلافية مع مهندسين من الجهاز نفسه منتسبين من اتحاد الاستشاريين السويسريين في أعمال الرصد والقياس، كما ألحق معهم عدد كبير من المهندسين العراقيين من جانب رب العمل للغرض نفسه. واكتسب المهندسون العراقيون مهارة عالية في ذلك، حيث استمروا بالقيام بالرصد والقياس في السنوات اللاحقة بعد تشغيل السد وسجلوا قياسات الرصد على مدى الأعوام التالية في تقارير دورية مفيدة للغاية.

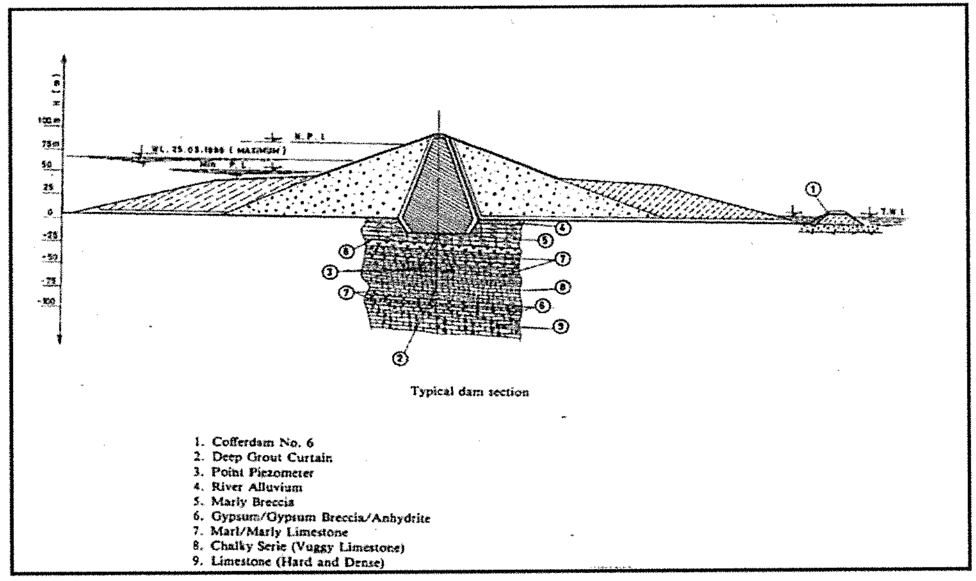
استخدم السد الواقي رقم (6) لقياس كميات الرشح المتأتية المتسربة من تحت السد الرئيسي كما سبق ذكره بعد إجراء المعايرات المطلوبة، بحيث يتم طرح كميات الرشح الواردة من خلال أساسات السد الواقي نفسه من كميات الرشح الكلية، وتكون الكمية الباقية ممثلة لكميات الرشح من تحت السد الرئيسي. وينطبق الشيء نفسه على سد الغلق رقم (4).

وقد أجريت عدد من فحوصات الضخ (Pumping tests) لقياس معامل سريان المياه (Coefficient Transmissibility)[3] من أسس هذين السدين الوقتيين، وإجراء الحسابات المطلوبة لهذا الغرض. وتمت المحافظة على المنسوب في مقدم السد الواقي رقم (6) بنصب عدد من المضخات لسحب المياه من البحيرة مقدمة السد لإبقاء هذا المنسوب ثابتًا أثناء كل قياس أسبوعي للرصد. لذا، تمثل تصاريف المضخات عند الرصد - بعد طرح كميات الرشح من أساسات السد الوقتي - كميات الرشح من تحت أسس السد الرئيسي في مقطع النهر، وتمت إضافة هدار في قمة السد الوقتي لتصريف المياه الزائدة لمنع الطفح فوقه في الفترات التي لا يجري فيها القياسات وإيقاف المضخات.

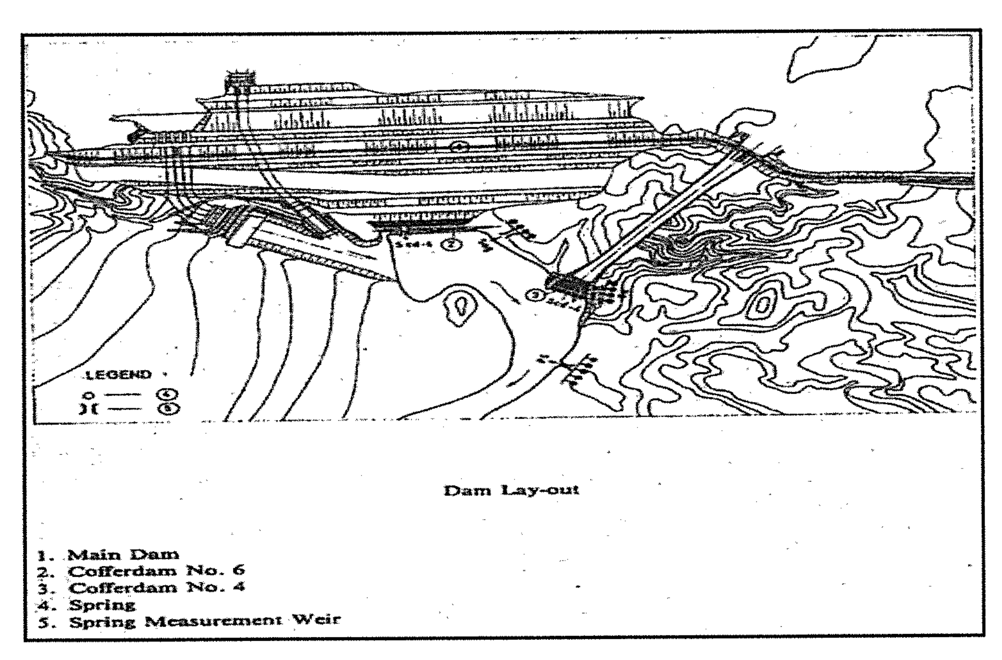
أما بالنسبة للسد الواقي رقم (4)، فقد جهز بهدار في قمته لقياس تصاريف الرشح المتجمعة فيه من عيون الرشح في الجانب الأيسر القريبة من منشأ المذب

ومنع الطفح فوق قمته أيضًا مع تقدير كميات الرشح من خلال أساساته بقصد طرحها من كميات الرشح الكلية أسوة بالسد الواقي رقم (6).

ويبين الشكل (1) والشكل (2) موقعي هذين السدين الوقتيين.



شكل 1: مقطع عرضي للسد في مقطع النهر مبينًا السد الوقتي رقم (6) مؤخر السد

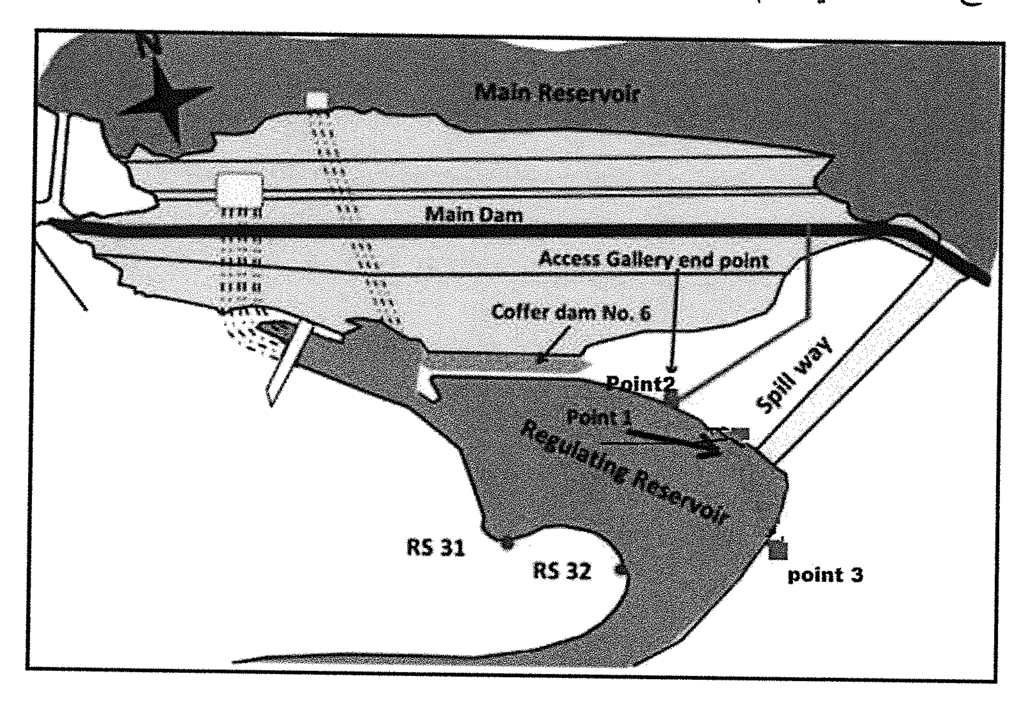


شكل 2: مخطط للسد لموقعي السد الوقتي رقم (6) والسد الوقتي رقم (4)

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press /سد الموصل /سحب ثالث

في ذات الوقت، تم جمع تصاريف ينابيع الجانب الأيسر السطحية في ثلاث قنوات مجمعة ونصب عليها هدارات في مواقع للرصد من أجل قياس التصاريف وجمع (التقاط) نماذج المياه للتحليل.

ويبين الشكل (3) مواقع نقاط رصد هذه التصاريف من العيون السطحية ومن موقع السد الوقتي رقم (6)[6].



شكل 3: مواقع نقاط قياس الرشح من أساسات السد

قام مجلس الخبراء العالمي بالاطلاع على هذه الإجراءات وتفاصيل قياسات الرصد خلال اجتماعه العشرين الذي انعقد في تشرين الأول (1985)، وأورد توقعاته وتوصياته في التقرير الخاص بالاجتماع المذكور[7]. وكانت كميات الرشح من العيون السطحية وتلك المتدفقة أمام السد الواقي الوقتي رقم (4) في ذلك الوقت بحدود (200) لتر/ثانية، بينما لم يتجاوز منسوب الخزن (276) مترًا فوق سطح البحر في ذلك الحين. ولاحظ المجلس كميات أملاح الكبريتات العالية في مياه الرشح، حيث أشار ذلك إلى حصول ذوبان في الصخور الجبسية في الأسس، وتوقع من دراسة قياسات رصد البيزومترات في الجانب الأيسر بأن هناك مساران

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/

لجريان الرشح من أساسات السد في هذا الجانب: الأول من منطقة السد الثانوي (Saddle Dam) بضمنها أساسات المسيل الثانوي (Fuse Plug) باتجاه النهر، وظهور هذا الرشح على سطح الأرض في مناسيب تزيد على منسوب (260) مترًا.

أما المسار الثاني، فإنه يتجه من يسار منشأ الهدار للمسيل الرئيسي بموازاة مسار قناة تصريف هذا المسيل ويظهر هذا الرشح في الجانب الأيمن من القناة المذكورة في منسوب فوق منسوب (260) مترًا فوق سطح البحر وبعد تسرب قسم منه تحت منشأ قناة التصريف. كما أن القسم الآخر يمر من تحت أساس منشأ المذب للمسيل في طبقة الجبس (GB3). وتسري مياه الرشح من المسارين من خلال طبقة الصخور الكلسية (F-Bed) تحت جسم السد وتخترقها عموديًا لكي تستمر بعد ذلك بالجريان على سطح التماس مع طبقة الأنهايدرايت الجبسية (GB3) مسببة ذوبانها ومهددة استقرارية قناة التصريف للمسيل ومنشأ مذب المسيل.

مما تقدم، اعتبر مجلس الخبراء العالمي أن الأمر يشكل خطورة كبيرة وأوصى بتنفيذ أعمال تحشيه إضافية، منها تقوية وتدعيم ستارة التحشية في منطقة السد الثانوي (Saddle Dam)، وذلك بإضافة خط ثاني من آبار التحشية بعمق كافٍ بحيث يخترق طبقة الأنهايدرايت الجبسية (GB3) الواقعة مباشرة تحت طبقة الصخور الكلسية (F-Bed)، بالإضافة إلى تنفيذ ستارة تحشية عميقة بطول (600) متر بمحاذاة الجانب الأيسر من قناة تصريف المسيل بهدف تقليل الرشح تحت هذه القناة وكذلك تحت منشأ المذب إلى أقصى درجة ممكنة وتقليل مخاطر الذوبان في طبقة البريشيا الجبسية تحتهما.

عقد مجاس الخبراء العالمي اجتماعه اللاحق - وهو الاجتماع الحادي والعشرين - في آذار (1986)، وكان موضوع الرشح والذوبان من أهم النقاط التي بحثها المجلس مع الاستشاريين وجهاز الإشراف على العمل (MODACOM)، واستلم تقريرين مفصلين منهم حول هذا الموضوع[8][9]. وتضمن التقريران اللذان وردت تفاصيلهما في تقرير المجلس[10] خلاصة بنتائج قياسات الرصد الأسبوعية لتصاريف الرشح، إضافة إلى تفسير نتائج تحليل قياسات تراكيز الأملاح الذائبة للفترة من الأسبوع الأخير لشهر تشرين الثاني (1985) ولغاية الأسبوع الثاني من آذار (1986)، وقدمت هذه المعلومات بشكل منحنيات تبين التغيرات الحاصلة على الرشح والذوبان مع الزمن.

ويمكن القول بأن مجموع كميات الرشح الكلية في الجانب الأيسر كانت في شهر آذار بحدود (830) لتر/ثانية من كافة المناطق المرصودة مع توقع وجود عيون غير ظاهرة في حافة النهر في المؤخر، بينما كان منسوب الخزان يساوي (304,6) متر فوق سطح البحر وذلك بتاريخ (22) آذار.

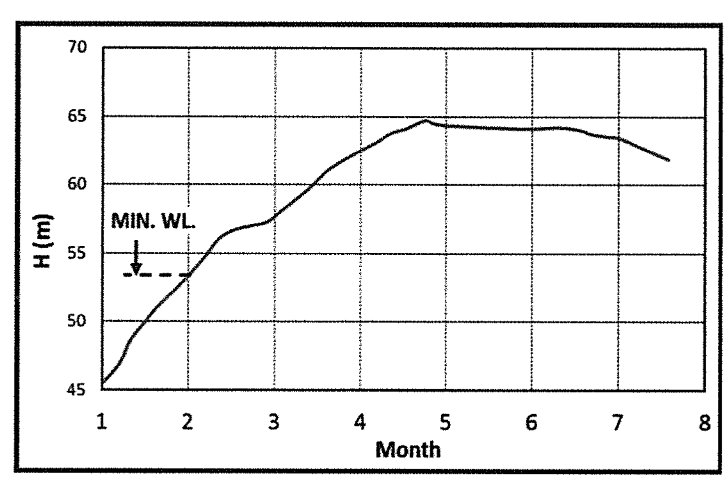
أما المعلومات الواردة بخصوص كميات الأملاح المذابة، فإن معدل الذوبان من الصخور الجبسية قدر في ذلك الحين بما مقداره (30) طن يوميًا مما يخلف تكهفات جديدة في الأسس تصل في حجمها إلى حوالي (10 ـ 15) مترًا مكعبًا في اليوم الواحد، وهذا من شأنه أن يؤدي إلى تسارع عملية الرشح والذوبان بدرجة أكبر.

ونظر المجلس بارتياح إلى تقدم العمل في أعمال التحشية الإضافية في الجانب الأيسر التي أوصى بالقيام بها في اجتماعه السابق، وأوصى أيضًا بضرورة استمرار قياسات الرصد لمراقبة وتوقع أي حالة قد تخرج عن نطاق السيطرة وقبل وقوعها.

قام جهاز الإشراف على التنفيذ بتحليل نتائج قياسات الرصد المتحققة من (10) شباط (1986) لغاية (14) آب من السنة نفسها (أي في فترة ملء الخزان جزئيًا) وإعداد دراسة مفصلة عن ظاهرتي الرشح والذوبان، وتوصل إلى عدد من الاستنتاجات المهمة وقد وثقت هذه المعلومات في بحث نشر لاحقًا في مؤتمر الهيئة الدولية للسدود العالية المنعقد في فيينا سنة (1991)[11].

أوجز البحث المذكور بالإضافة إلى تطور كميات تصاريف مياه الرشح، نتائج التحليلات الكيميائية للأملاح الذائبة الكلية وأنواع تلك الأملاح ودرجات حرارة المياه وذلك من أجل تخمين الأعماق التي نشأت منها في الأساسات، وأخيرًا سعى البحث المذكور إلى تقدير كميات الذوبان الحاصل في الأسس وعرضت النتائج بشكل منحنيات لسهولة المتابعة والتحليل.

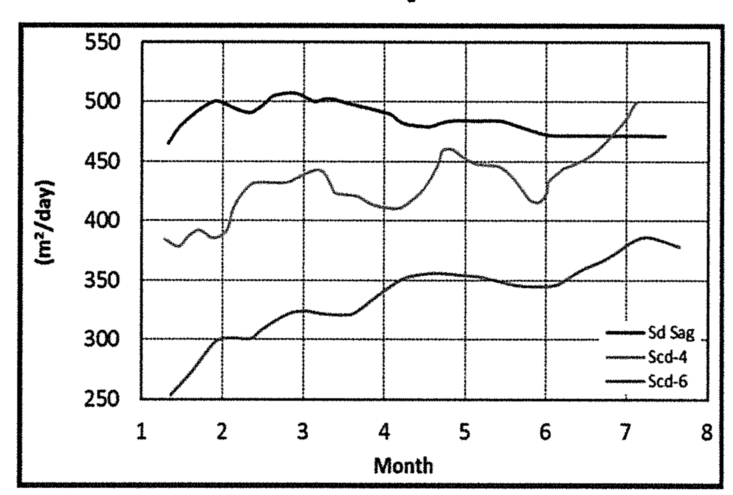
ويبين الشكل (4) منحنًى لتغير الضاغط المائي الناتج عن ارتفاع منسوب الخزان للفترة من الأول من كانون الثاني لغاية منتصف آب من سنة (1986) وكما ورد في الورقة البحثية آنفة الذكر.



شكل 4: منحنى الضاغط المائي نتيجة لارتفاع منسوب الخزان وتغيُّره مع الزمن

ويلاحظ بأن الزيادة بالضاغط المائي خلال الفترة المشار إليها هي بحدود (20) مترًا، حيث وصل منسوب الخزن حوالي (308) مترًا فوق سطح البحر في الأسبوع الأخير من نيسان؛ أي: بعد تسليك موجة الفيضان الربيعية بدأ بعدها بالانخفاض نتيجة لإطلاق تصاريف عالية من المسيل وحسب المخطط المعد مسبقًا لإدارة عملية الإملاء الأولية للخزان بصورة آمنة.

وفي الشكل (5) نتائج قيم معامل سريان المياه (Transmissibility Coefficient) التي تم الحصول عليها من تجارب ضخ المياه (Pumping tests) والتي استخدمت لحسابات كميات مياه الرشح من خلال أسس السدين الوقتيين، ويتبين بصورة واضحة تأثرها بارتفاع مياه الخزان للفترة من منتصف كانون الثاني (1986) لغاية منتصف تموز من السنة نفسها.

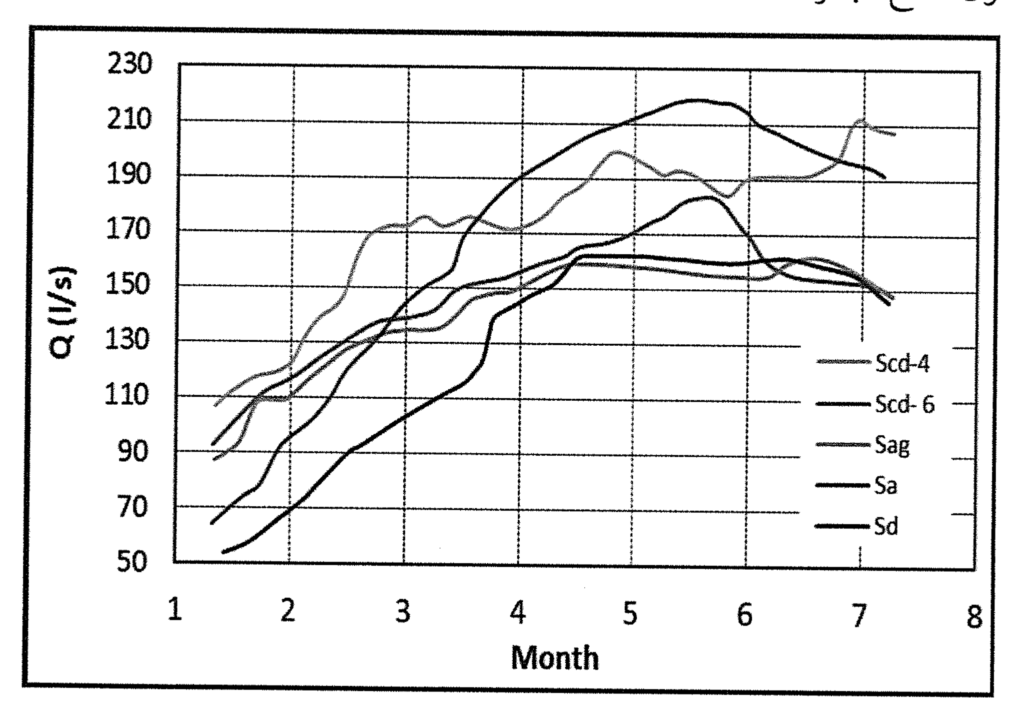


شكل 5: تغير معامل سريان المياه (Transmissibility Coefficient) مع الزمن عند ملْء الخزان

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/

أما الشكل (6)، فيوضح قياسات تصاريف الرشح التي يحتجزها السد الوقتي رقم (6)، وتلك التي يحتجزها السد الوقتي رقم (4) بعد تصحيح الكميات الكلية بطرح كميات الرشح من تحت أسس السدين الواقيين منها بالاستعانة بالشكل (5). ويبين الشكل (6) ـ أيضًا ـ، تصاريف العيون السطحية في الجانب الأيسر خلال الفترة المبينة، ويبين هذا الشكل الزيادة الواضحة في الرشح نتيجة لارتفاع المنسوب خلال الأشهر المنوه عنها. ويمكن الاستدلال من ذلك على وجود علاقة مباشرة بين زيادة الضاغط المائي من ناحية وكميات الرشح من الأسس من الناحية الأخرى سواء من تحت السد الرئيسي أو من الجانب الأيسر التي تصب بحوض السد الواقي رقم (4) وكذلك من العيون السطحية في هذا الجانب، وهو الأمر المنطقي المتوقع.

وفي هذا السياق، نذكر بأن إحدى رصدات قياسات الرصد لمياه الرشح من عيون الجانب الأيسر التي جرت في (22) آذار من سنة (1986) أعطت لوحدها ما مجموعه (830) لترًا بالثانية وكان منسوب الخزان (304,6) مترًا فوق سطح البحر في ذلك الحين، لذا تم توقع وصول كمية الرشح الكلية من تلك العيون إلى (2) مترًا مكعب بالثانية عندما يتحقق منسوب التشغيل الأعلى للخزان البالغ (330) مترًا فوق سطح البحر.



شكل 6: تصاريف الرشح من العيون تحت أساسات السد في الجانب الأيسر وفي مقطع النهر

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/

ويمكن قول المزيد عن تصاريف الرشح المبينة في شكل (6)، حيث يلاحظ بأن مجموع كميات الرشح في أسس السد الرئيسي وكذلك من الجانب الأيسر قد ازدادت من (500) لتر/ثانية إلى (1400) لتر/ثانية خلال الفترة من (10) شباط إلى (4) حزيران (1986). وفي هذه الفترة، ارتفع الضاغط المائي من (49) مترًا إلى (65) مترًا.

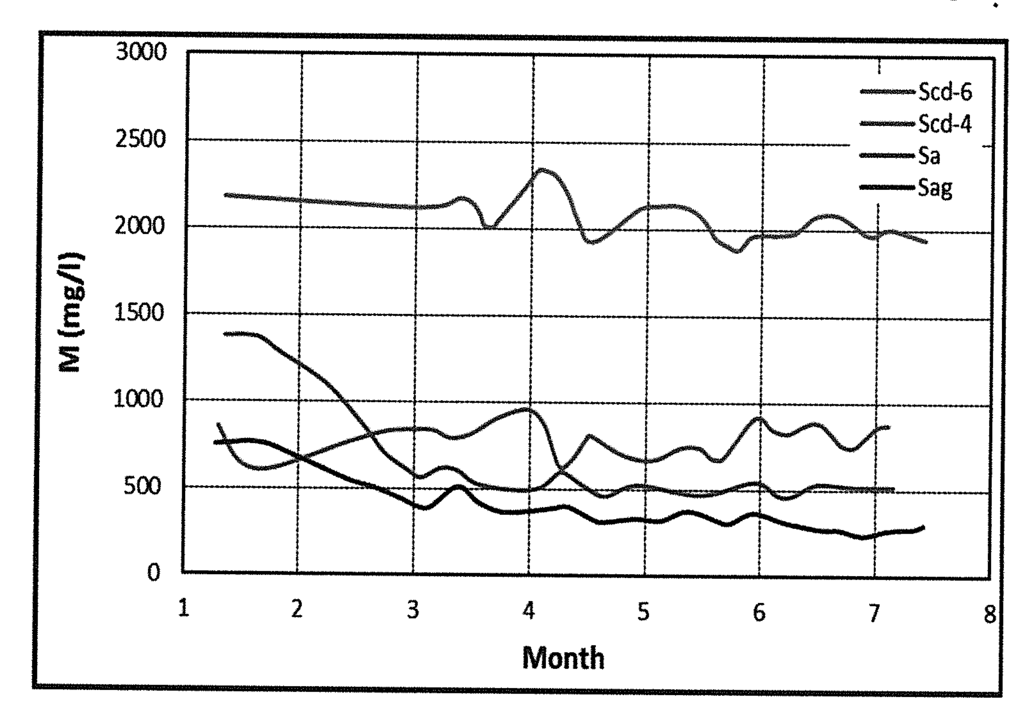
أما الزيادة الحاصلة في تصاريف عيون الرشح السطحية في المجموعتين (Sa) و(Sd) في الجانب الأيسر، فكانت من (150) لتر/ثانية إلى حوالي (900) لتر/ثانية، كما وأن الجزء الأكبر من الرشح لمجموعة العيون السطحية قد تسربت عبر طبقة الصخور الكلسية (F-bed). وعند تدقيق الشكل (5)، نرى أن قيمة معامل سريان المياه (Transmissibility Coefficient) في أسس السدين الوقتيين (4) و(6) قد ازدادت خلال فترة الدراسة من (630) مترًا مربعًا/يوم إلى (880) مترًا مربعًا/يوم.

ولوحظ أيضًا زيادة في قيمة هذه المعامل بحدود (150) مترًا مربعًا/يوم في (10) أيار من سنة (1986) عن قيمتها في (10) شباط من السنة نفسها، على الرغم من أن مناسيب الخزان في أيار كانت تتجه نحو الانخفاض بسبب إطلاق المياه بينما كانت هذه المناسيب تتجه نحو الارتفاع بسبب زيادة الخزن في تلك الفترة. كما يقال الشيء نفسه عن قيمة المعامل يوم (2) آب التي ازدادت عن قيمتها يوم (24) أيار بمقدار (40) مترًا مربعًا/يوم على الرغم من انخفاض مناسيب الخزان بمقدار (1,9) مترًا.

كل هذا يدل على أن ازدياد قيمة المعامل هو دالة للزمن وليس للزيادة أو النقصان في الضاغط المائي، وأن العملية برمتها هي عملية لا رجعة فيها (Irreversible)؛ أي: أن مسالك الجريان تزداد حجمًا بمرور الوقت طالما كان هناك ضاغط هيدروليكيًا على الأسس يدفع إلى استمرار الذوبان.

ومن دراسة تغير درجات الحرارة لمياه الرشح المسجلة خلال فترة قياسات الرصد التي أوردتها هذه الورقة البحثية، فإن درجات حرارة مياه العيون السطحية العالية نسبيًا كانت تشير في البداية إلى أن مصدر هذه المياه يقع على عمق بحدود (60 ـ 70) مترًا وإن الانخفاض التدريجي اللاحق في درجات حرارة هذه المياه مع تقدم الوقت إنما يرتبط بزيادة كميات الرشح واتساع نطاق الطبقات الصخرية في الأسس التي يحصل فيها هذا الرشح.

بقي أن نذكر مدى تأثير كل هذه العوامل على الذوبان في الأسس، فقد أشار البحث إلى الاستدلال على حالة وكمية الذوبان في الأسس من خلال ملاحظة الفرق في تركيز الأملاح المذابة في النماذج الملتقطة من مياه الرشح ومقارنتها مع تركيز الأملاح في مياه الخزان الذي بلغ معدله بحدود (250) ملغم/لتر. ويبين الشكل (7) تراكيز الأملاح في مياه الرشح وتغيُّرها خلال المدة التي غطاها البحث.



شكل 7: تطور حالة الذوبان في أسس السد

من تحليل هذه النتائج، يتبين بأن كمية الذوبان في أساسات السد في مقطع النهر التي تم الحصول عليها برصد التصاريف في السد الوقتي رقم (6) تفوق بدرجة كبيرة قيم الذوبان في المياه الراشحة إلى السد الوقتي رقم (4) في الجانب الأيسر، كما تفوق أيضًا كميات الذوبان الحاصلة بسبب العيون السطحية في الجانب الأيسر أيضًا.

تم احتساب الكمية الكلية للمواد الذائبة من الأسس خلال هذه الفترة وكانت بحدود (13000) طن، وإن المعدل اليومي للذوبان تراوح بين (42) طن إلى (80) طن يوميًا، ووجد أن (70%) من كمية المواد الذائبة الكلية كانت من المياه الراشحة إلى السدين الوقتيين وما تبقى البالغ (30%) من مياه الراشحة من العيون السطحية.

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/

مما تقدم، نرى بأن معدلات الذوبان تزداد كلما تقدمت عملية الذوبان نفسها بسبب زيادة كميات الرشح، حيث كانت تلك المعدلات قد قدرت بمقدار (30) طن/يوم من المواد الصلبة في الفترة من تشرين أول (1985) لغاية آذار (1986)، بينما ازداد هذا المعدل في الفترة اللاحقة التي جرت فيها هذه الدراسة وهو أمر طبيعي بسبب تطور حالة التكهفات السلبية في الأسس.

ويظهر من الشكل (7) كأن نسبة الأملاح انخفضت واستقرت في المياه الراشحة من العيون السطحية في الجانب الأيسر بعد أن كانت كمياتها عالية في البداية. ويمكننا تفسير هذا الأمر إلى أن الزيادة الأولية السريعة كانت بسبب الغسل السريع للأملاح الموجودة في إملائيات التشققات والتكسرات في الصخور الكلسية، بينما في الفترة اللاحقة، بدأ الذوبان في الصخور الجبسية والأنهايدرايت الواقعة تحت طبقة الصخور الكلسية وهي عملية بطيئة نسبيًا. أما بالنسبة لكميات الذوبان من أساسات السد الرئيسي، فهي تنتج أساسًا من الذوبان في طبقات الصخور الجبسية والأنهايدرايت والبريشيا الجبسية في الأسس وقد كانت قد بلغت قيم عالية نسبيًا حتى قبل بداية الدراسة، وهي مستمرة بمعدلات شبه ثابتة ضمن التفاوت غير الكبير في مناسيب الخزان خلال تلك الفترة.

خلص البحث في النهاية إلى الاستنتاج المنطقي بأن ظاهرة الذوبان من أساسات السد يمكن أن تؤثر في سلامته بسبب ما يحدثه من ذوبان في الأسس، وأن مصدري المواد الذائبة هما:

الأول: من غسل المواد الجبسية الدقيقة وقطع الأنهايدرايت الصغيرة وبقية الأملاح المترسبة جميعًا في الشقوق والتصدعات في طبقة الصخور الكلسية (F-Bed) في الجانب الأيسر، مع العلم أن طبقة الصخور الكلسية بحد ذاتها لها قابلية للذوبان إلا أن ذلك الذوبان أقل من ذوبان الجبس بحوالي عشرة مرات. وكذلك يحصل مثل هذا الذوبان من المواد التي تملأ التشققات والفراغات في عمق أساسات السد في مقطع النهر العميق.

الثاني: من الذوبان المباشر لطبقات الصخور الجبسية والأنهايدرايت تحت الصخور الكلسية في الجانب الأيسر ومن طبقات البريشيا الجبسية والصخور الجبسية والأنهايدرايت في عمق أساسات السد في مقطع النهر.

ولغرض إعطاء صورة واضحة عن كيفية تطور عملية الذوبان في أسس السد، يمكن القول بأن عملية الذوبان بدأت بالازدياد والتسارع عند المباشرة بالخزن

الأولي وتصاعد الضاغط المائي على الأسس، فقد ازداد نشاط الذوبان كثيرًا في المنطقة المجاورة لستارة التحشية نتيجة لزيادة الفرق في الضاغط المائي في مقدم ومؤخر الستارة (Hydraulic Head Difference)، مما أدى إلى فتح مسالك جديدة للرشح، وبالتالي زيادة سرعة الجريان، وكلما اشتدت سرعة الجريان ازداد انخفاض الانحدار الهيدروليكي (Gradient Hydraulic) عبر الستارة وتسارع الرشح من خلالها، ولا ننسى في الوقت نفسه الازدياد الحاصل في معامل سريان المياه (Transmissibility Coefficient - K).

لذا، وبمرور الوقت، يتم غسل كافة الأملاح من جبس وغيرها المترسبة في التشققات والتصدعات في جوار ستارة التحشية، وبالتالي استنفاذ تلك المواد من تلك التشققات، إلا أن الذوبان يستمر وبمعدلات أعلى من سطوح التماس بين طبقات الصخور الجبسية والأنهايدرايت مع طبقة الصخور الكلسية (F-Bed) كما في الجانب الأيسر، وكذلك في أساسات السد في مقطع النهر من سطوح التماس بين البريشيا الجبسية (GB) مع الصخور المتاخمة لها من الصخور الكلسية الطباشيرية (Chalky Limestone)، بالإضافة إلى ذوبان طبقات الصخور الجبسية والأنهايدرايت المتصدعة أصلًا والمحصورة بين طبقات صماء من صخور الطفل (Marls) في عمق مقطع النهر.

وقد لوحظ هذا الذوبان بصورة جلية عند تنفيذ أعمال تحشية الصيانة في الستارة العميقة في المنطقة المذكورة.

إن صخور الأسس التي يعود عمرها إلى عصر المايوسين الأوسط تمتاز بصورة عامة بخواص ميكانيكية ضعيفة مما يجعل التكهفات فيها قلقة ومعرضة للتهدم والانهيار.

واستنادًا إلى موقع تلك التكهفات وأبعادها وعمقها تحت الأسس، فإن تهدمها واتساع نطاقها يجعل منها خطرًا قائمًا بالنسبة للسد ومنشآته بسبب إمكانية حصول هبوط تدريجي في الأسس يؤدي تراكمه إلى حصول هبوط تفاضلي في جسم السد نفسه وتشقق جسم السد وبالتالي إلى الرشح خلاله وانهياره.

لذا، وحسب رأي الباحثين، فإن من الضروري القيام بالفحص والتدقيق المستمرين للتأكد من عدم تطور مثل هذه الكهوف في الصخور الجبسية والأنهايدرايت في هذه الأسس ويكون ذلك بالحفر والتحشية المنتظمة بالآبار التدقيقية، بالإضافة إلى أعمال الصيانة في ستارة التحشية الجارية لحد الآن.

إن أخطر حالة للذوبان يمكن تصورها في الأسس هي حالة الإذابة المتقدمة في

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press /سد الموصل /سحب ثالث

الصخور الجبسية والأنهايدرايت بامتداد التكهفات نحو المقدم لترتبط بمياه الخزان أو نحو المؤخر لترتبط بمياه المؤخر، إذا ما كانت هذه الطبقات متكشفة (Outcrop) داخل الخزان أو في المؤخر، ويعني ذلك تكوّن قنوات مفتوحة للجريان السريع في الأسس تؤدي لاحقًا إلى انهيارات متتالية في الأسس والوصول إلى قاعدة السد ومن ثم حصول التآكل الداخلي لمواد الأسس وانهيار السد.

ويمكن القول بأن الدراسة المذكورة تشير بأن جريان مياه الرشح في الجانب الأيسر هو جريان حر في مجموعتَي العيون (Sa) و(Sd)، أو جريان ارتوازي من أعماق كبيرة في الخزان كما في المجموعة (Sa) وأن الطبقة الناقلة هي طبقة (F-Bed).

أما الرشح من أساسات السد في مقطع النهر، فهو ارتوازي يتم من خلال الستارة بعد إذابة أجزاء منها وكذلك أجزاء من الصخور الجبسية والأنهايدرايت المتاخمة لها.

وأخيرًا توصلت الدراسة إلى الاستنتاجات التالية:

- على الرغم من أعمال التحشية في الستارة خلال السنوات من (1984) لغاية إجراء هذه الدراسة في (1986)، فإن كميات مهمة من الرشح وذوبان الصخور الجبسية والأنهايدرايت قد حصلت في أساسات السد وأن الحالة مستمرة.

- إن الجزء الأكبر من الذوبان قد سجل في مقطع النهر وتبعه زيادة مستمرة في نفاذية الأساسات مما يعني انخفاض مستمر في كفاءة ستارة التحشية.

- إن الرشح الكبير الذي حصل في الإملاء الأولي في الجانب الأيسر ناجم عن ذوبان المواد داخل التشققات والتكسرات في صخور الأسس، ومن ثم تطور الحالة إلى الذوبان من سطح طبقة الأنهايدرايت (GB3) أسفل طبقة الـ(F-Bed).

- إن هناك إمكانية دائمة لتطور حالة غير مسيطر عليها من الذوبان في الأسس، ويعتمد ذلك على التركيب الجيوتكتوني لأساسات السد وإمكانية ارتباط الطبقات ذات الذوبان العالي مع مياه الخزان في المقدم أو المياه في المؤخر، إذا ما كانت تلك الطبقات متكشفة في المقدم أو المؤخر وكما سبق توضيحه.

استمرت المتابعة الدقيقة لحالة الرشح والذوبان في أساسات السد، حالها حال بقية الأمور الأخرى المتعلقة بتنفيذ السد ومتابعة ملْئه الأولي. واستلم مجلس الخبراء العالمي وناقش تقريرًا كاملًا معززًا بالمنحنيات عن هذا الموضوع خلال اجتماعه الثاني والعشرين الذي انعقد في أيلول (1987)[12]، وغطى التقرير المذكور المدة من آب (1986) ولغاية آب (1987)؛ أي: دورة مائية كاملة تضمنت فترات ارتفاع وهبوط بمناسيب الخزان، وامتدت الفترة الأولى من آب (1986) عندما كان

المنسوب (309) مترًا فوق سطح البحر إلى نهاية تشرين الثاني (1986) نتيجة لإطلاق التصاريف لإشباع الاحتياجات المختلفة فوصل المنسوب إلى (303) مترًا فوق سطح البحر، تلتها الفترة الثانية وكانت فترة ارتفاع بمناسيب الخزان نتيجة لفيضانات الشتاء وامتدت من بداية كانون أول (1986) لغاية نهاية أيار (1987) ارتفع فيها المنسوب إلى (310,3) مترًا فوق سطح البحر، وأخيرًا انخفض منسوب الخزان نتيجة إطلاق التصاريف إلى منسوب (309) مترًا فوق سطح البحر في نهاية آب (1987).

وتجدر الإشارة إلى أن معظم أعمال التحشية الإضافية التي سبق لمجلس الخبراء أن أوصى بتنفيذها سابقًا في الجانب الأيسر من السد قد تمت، وبالتالي فقد درس موضوع الرشح والذوبان في ضوء تغير مناسيب المياه المشار إليها أعلاه ولاحظ بأنه وبعد الأخذ بعين الاعتبار الارتفاع والانخفاض بالمناسيب فإن كميات الرشح وبالتالي الذوبان من تحت السد في هذا الجانب قد انخفضت بحدود (50%) نتيجة لتنفيذ هذه التحشية، علمًا بأن التحسن الأكبر كان في تقليل الرشح المقاس في نقطة القياس رقم (2) أيسر منشأ مذب المسيل. وخمن المجلس بأن هذه الكميات سوف تزداد مرة أخرى بحدود (40%) في حالة ارتفاع مناسيب الخزان لاحقًا إلى المنسوب التشغيلي الأعلى الاعتيادي البالغ (330) مترًا فوق سطح البحر.

أما بالنسبة للرشح والذوبان من تحت الأسس في منطقة مقطع النهر والتي يتم قياسها أمام السد الوقتي رقم (6)، فلاحظ انخفاض معدل ذوبان الأملاح من (20 ـ 30) طن باليوم في نهاية (1986) إلى (10 ـ 15) طن باليوم عند انعقاد المجلس في سنة (1987)، وبالتالي اعتبر بأن هذا التحسن جاء بسبب تكثيف أعمال تحشية ستارة التحشية العميقة واستخدام أساليب محسنة جديدة مما سوف يرد تفصيلها في الفصل الخاص بأعمال صيانة وتحسين الستارة المذكورة. ورغم التحسُّن المذكور، فقد شدَّد المجلس على كون معدلات الرشح والذوبان لا تزال أعلى مما يجب أن تكون عليه إذا ما نظر إلى الموضوع من منظور سلامة السد.

ويذكر بأن القياسات من أمام السد الوقتي رقم (4) قد توقفت منذ تشغيل المنافذ السفلى للسد وانغمار السد المذكور بالمياه وتشغيل المسيل في إطلاق المياه. كما أن قياسات تصاريف الرشح من أمام السد الوقتي رقم (6) توقفت هي الأخرى منذ منتصف حزيران (1987) بسبب الارتفاع والانخفاض اليومي في منسوب المياه مؤخر السد الرئيسي بسبب إطلاقات المحطة الكهرومائية مما يسبب صعوبة كبيرة في احتساب كميات الرشح من أساسات السد الوقتي لغرض طرحها من كميات الرشح

الكلية، غير أن قياسات تراكيز الأملاح في المياه الراشحة من أمام هذا السد الوقتي قد استمرت من دون توقف.

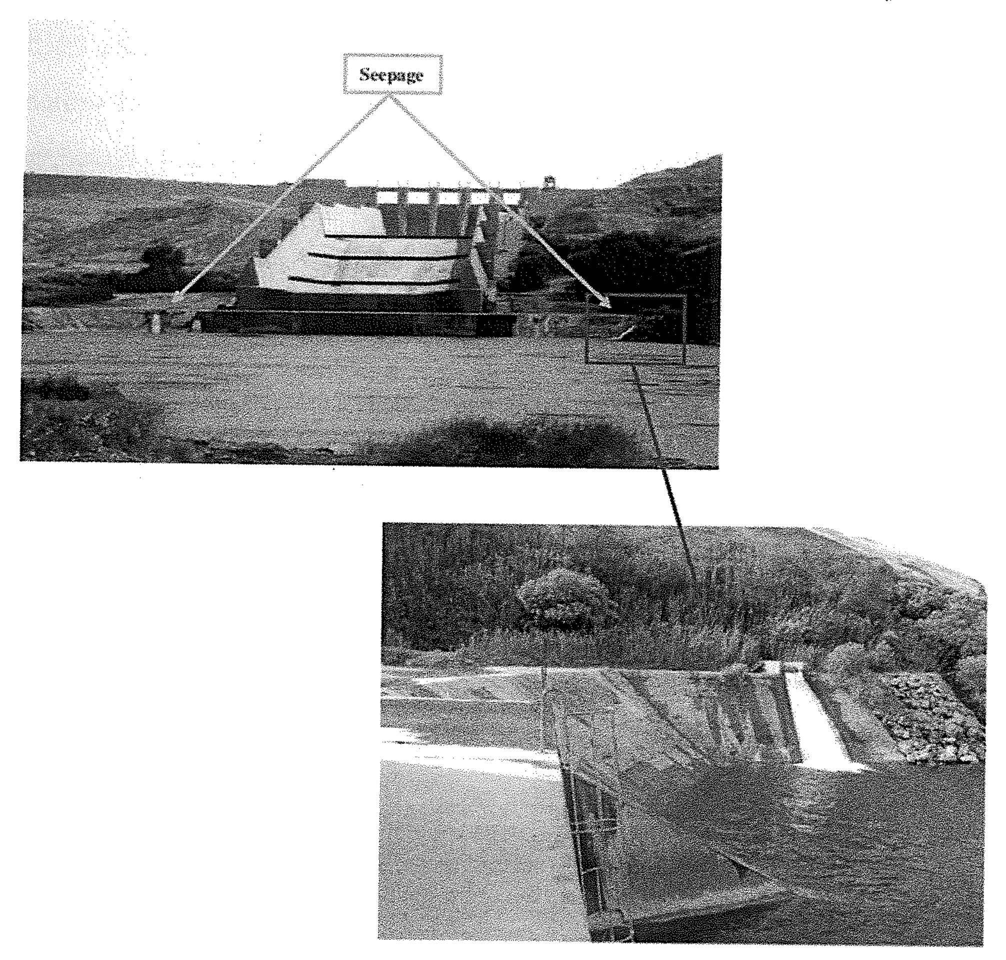
وتابع المهندسون العراقيون القائمون على إدارة السد لاحقًا القياس والرصد لكميات الرشح وتراكيز الأملاح فيها، وتم توثيق تلك القراءات في تقارير سنوية، ومن هذه التقارير أمكن التوصل إلى عدة استنتاجات منها: أن كميات الرشح في كافة نقاط القياس مرتبطة ارتباطًا قويًّا مع مناسيب الخزان فتزداد بزيادته وتنخفض بانخفاضه، وكذلك الحال فيما يتعلق بكميات الذوبان في صخور الأسس فهي الأخرى تزداد وتنقص طرديًّا مع المناسيب؛ أي: أن هذه الحالة مستمرة ولم تتوقف حتى بعد إنجاز أعمال التحشية الإضافية واستمرار أعمال التحشية في صيانة الستارة العميقة.

ومن أجل إعطاء فكرة واضحة عن هذه التقارير، فقد قمنا باختيار أحد هذه التقارير كنموذج ـ وهو التقرير المقدم من إدارة السد إلى اجتماع اللجنة الوطنية لسلامة السدود العراقية سنة (1998) ـ [13]. ولخص التقرير القيم السنوية القصوى لقياسات الرشح وتراكيز الأملاح الكلية وتركيز جذر الكبريتات فيها للسنوات (1994) لغاية (1998) في نقاط القياس المبينة في الشكل (3) وقد تم تلخيص هذه المعلومات في الجدول (1).

جدول (1): جدول بتصاريف الرشح وتراكيز الأملاح الذائبة للسنوات (1994 ـ 1998)

	التاريخ	3.9.94	26.8.95	25.8.96	1.9.97
	منسوب الخزان (متر فوق سطح البحر)	320.22	320.26	320.22	320.30
نقطة (1)	كمية الرشح (لتر / ثانية)	23.7	11.9	23.41	18.38
	كمية الاملاح الكلية المذابة (ملغم / لتر)	538	508	542	650
	كمية جذر الكبريتات المذابة (ملغم / لتر)	148	74	211	123
نقطة (2)	كمية الرشح (لتر/ثانية)	104.5	99.3	100.6	102.2
	كمية الاملاح الكلية المذابة (ملغم / لتر)	396	306	312	356
	كمية جذر الكبريتات المذابة (ملغم / لتر)	110	56	104	96
نقطة (3)	كمية الرشح (لتر / ثانية)	143.9	138.1	134.9	139.6
	كمية الاملاح الكلية المذابة (ملغم / لتر)	1312	1208	1244	1330
	كمية جذر الكبريتات المذابة (ملغم / لتر)	340	160	287	194
من مقدم السد الوقتي رقم (6)	كمية الرشح (لتر / ثانية)	----------	----------	----------	----------
	كمية الاملاح الكلية المذابة (ملغم / لتر)	882	860	692	982
	كمية جذر الكبريتات الكلية المذابة (ملغم / لتر)	238	118	163	152

وفي الشكل (8) صور للرشح من يسار المسيل (النقطة 3) ومن يمينه (النقطة 1) ويتم القياس بواسطة هدارين منصوبين على القناتين المجمعتين، وقد التقطت الصورة في سنة (2003).



شكل 8: الرشح من النقطة (3) والنقطة (1) على جانبي منشا المذب للمسيل الرئيسي

لم تجر خلال السنوات التي تلت تنفيذ السد كافة أي محاولة لدراسة الآثار بعيدة المدى على سلامة السد المترتبة على استمرار الرشح والذوبان في الأسس. وبدأ الاهتمام بموضوع السلامة هذا بعد احتلال العراق من قبل الولايات المتحدة الأمريكية وبريطانيا في نيسان (2003)، حيث قام فريق من فيلق المهندسين في الجيش الأمريكي (USACE) بعدة زيارات موقعية في سنتي (2003) و(2004)[14]. وكشفت تلك الزيارات أن الحالة العامة للسد غير مطمئنة خاصة

في ضوء استمرار أعمال التحشية في الستارة العميقة في مقطع النهر دون توقف، وعدم التوصل إلى استقرار الأسس، واستمرار حالة الذوبان فيها.

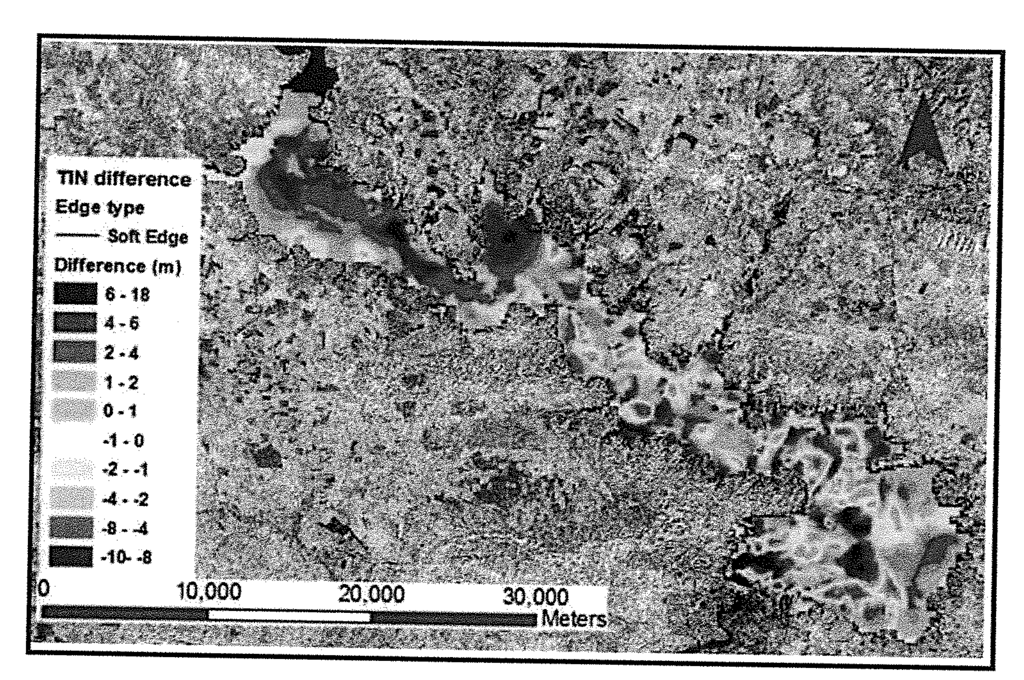
لذا، تم في نهاية الأمر سنة (2004) تكليف اتحاد لشركتين أمريكيتين هما: شركة واشنطن كروب إنترناشونال مع شركة بلاك أند ڤيتش (Washington Group International & Black and Veatch) وتختصر (WI/ BV.JV) للقيام بدراسة معمقة عن مشاكل السد والحلول المقترحة لتحسينها، وتم تقديم تقرير هذه الدراسة في آب (2005)[15].

لقد تضمن التقرير تفاصيل المشاكل المؤثرة في سلامة السد ومن جملتها استمرار الذوبان واحتمالات انهيار السد بسبب تلك الحالة، وتضمن العمل الموكل إلى اتحاد الشركتين دراسة تحليل سيناريوهات فشل السد وانهياره.

لذا، فقد تشكل فريق متخصص بسلامة السدود لهذا الغرض برئاسة البروفسور سكب هندرون (Skip Hendron)، الأستاذ المتقاعد من جامعة إيلينوي وعضوية عدد من الخبراء الآخرين من اتحاد الشركتين المشار إليه أعلاه مع خبراء من مؤسسة (URS) المعنية بالمشاريع الاستراتيجية في الولايات المتحدة.

وقام الفريق بتحليل مستقبل سلامة السد باتباع الخطوط التوجيهيه المقرة من الهيئة الأمريكية الفدرالية المنظمة لمشاريع الطاقة (US Federal Energy Regulatory Commission-FER). خلص تقرير الفريق المذكور إلى وجود ثلاثة عشر سيناريو من سيناريوهات الفشل بالنسبة لسد لموصل، وسوف يتم شرح هذه السيناريوهات بصورة مفصلة في الفصل العاشر من هذا الكتاب الذي يبحث في الدراسات التي أجريت لتقييم سلامة السد.

ويمكننا القول هنا، بأن أخطر تلك السيناريوهات هي تلك المرتبطة بحالة الأسس وإمكانية حصول ذوبان مستمر وخسفات أرضية تحت قاعدة السد أو بالقرب منه. وعلى هذا الأساس فإن من الخطورة أيضًا حدوث خسفات أرضية في قعر الخزان أمام السد نفسه كما في الشكل (9)، أو حدوث مثل هذه الخسفات في قعر النهر بجوار جسم السد في المؤخر، حيث قد تمتد الحالة إلى قاعدة السد نفسه.



شكل 9: الخسفات الأرضية في خزان سد الموصل

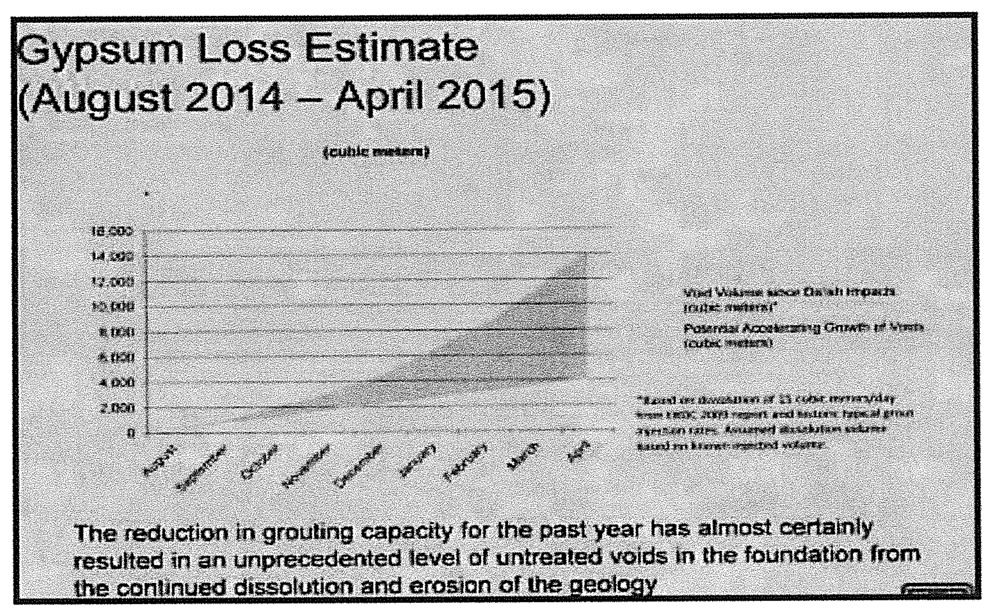
يمثل الشكل (9) نتائج مسح الأعماق (Bathymetric Survey) التي جرت لخزان سد الموصل سنة (2011) كجزء من أطروحة للحصول على شهادة الدكتوراه قام بها طالب عراقي في جامعة لوليو (Luleå University) السويدية. وتبدو في الشكل (9) الخسفات في القعر، حيث هناك العديد منها قريبًا جدًّا من جسم السد ـ وهي الملونة باللون البرتقالي ـ التي تتراوح أعماقها من (4) إلى (8) مترًا[16].

لقد ساعدت عمليات تحشية صيانة التحشية العميقة في مقطع النهر خلال الفترة منذ سنة (1986) وحتى منتصف سنة (2014) في تقليل الذوبان في أسس السد، إلا أنها لم تستطع إيقافها تمامًا.

ويشير تقرير أعدَّه فيلق المهندسين الأمريكيين إلى زيادة كبيرة في كميات الذوبان استنادًا إلى قياسات تركيز الأملاح الذائبة التي جرت سنة (2015)، بعد توقف عمليات تحشية الصيانة المذكورة منذ حزيران (2014) ولفترة تجاوزت (18) شهرًا بسبب احتلال الموصل وما جاورها من قبل مسلحي الدولة الإسلامية في العراق والشام[17].

ويوضح الشكل (10) الوارد في تقرير فيلق المهندسين الأمريكيين، تطور حجم التكهفات الذائبة خلال الفترة المذكورة، حيث إن الخط المستقيم في الأسفل يمثل الذوبان المتوقع وحجم التكهفات بسبب ذوبان الصخور الجبسية من آب (2014)

لغاية نيسان (2015) بافتراض أن أعمال التحشية مستمرة ويبلغ الحجم التراكمي في هذه الحالة ما يربو على (4000) متر مكعب. أما المنحنى في الأعلى، فيعطي حجم التكهفات المستنتجة فعلًا من القياسات الفعلية لكميات الذوبان خلال الفترة نفسها؛ وهي فترة التوقف في أعمال التحشية، وقد قدرت الكمية التراكمية (14000) متر مكعب؛ أي: بزيادة تبلغ (10000) متر مكعب.



شكل 10: مقارنة بين حجم التكهفات التراكمية المفترضة بسبب ذوبان الصخور الجبسية في أسس السد في حالة استمرار أعمال صيانة ستارة التحشية العميقة مع الكميات الفعلية التي تم احتسابها بعد توقف تلك الأعمال للفترة بين آب (2014) ونيسان (2015).

والملاحظ من شكل المنحنى العلوي، أن وتائر الذوبان وزيادة حجم التكهفات تزداد بصورة مضطردة وتسارعية عند عدم إجراء تحشية الصيانة. هذا، وسوف يتم التطرق إلى الآثار بعيدة المدى الناجمة من عملية الذوبان في الأسس في فقرة لاحقة.

4 - ظهور وتطور الخسفات الأرضية وقنوات الذوبان في سد الموصل

يعاني موقع سد الموصل من ظاهرة وجود الخسفات الأرضية فيه وتطور خسفات جديدة مع تقدم الزمن. والخسفات الأرضية (Sinkholes)[(4)] تسمى أيضًا بالحفر أو الخسفات، وتتكون الخسفات هذه نتيجة لانهيار الطبقة السطحية من سطح الأرض

في موقع ما بسبب حصول ذوبان في طبقة صخرية تحت السطح في ذلك الموقع وتطور هذا الذوبان لتكوين تجاويف وكهوف كبيرة بما يعرف بظاهرة الكارست.

وترتبط ظاهرة الكارست هذه عادة بالإذابة الكيميائية للصخور الكلسية وكذلك الصخور الجبسية و الصخور الملحية وبدرجة أقل في الصخور الرملية.

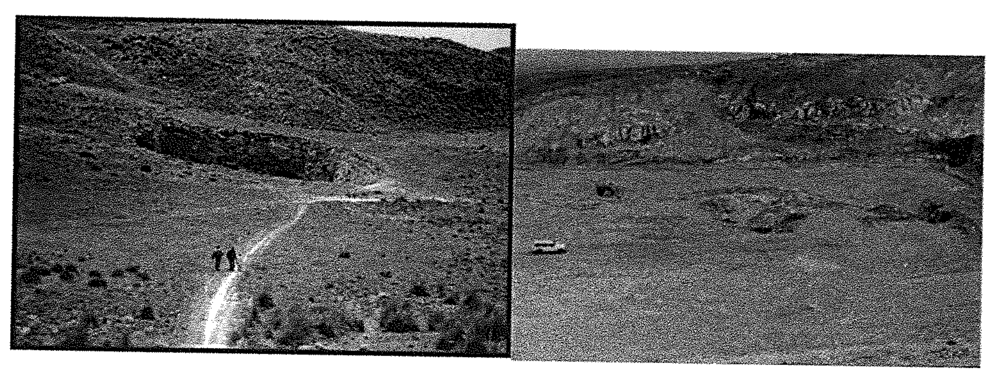
ويشترط توفر عاملان مهمّان لتكوين الخسفات:

أولهما: أن تكون الصخور ذات قابلية للذوبان في الماء.

وثانيهما: وجود جريان مائي أرضي يعمل على استمرار عملية الإذابة وزيادة حجم الكهوف الناشئة من هذا الذوبان، وتتطور التكهفات في النقاط التي تتعرض لتدفق مباشر للمياه الجوفية لتأخذ أشكالًا مختلفة حسب نوع الصخور.

وفي كثير من الأحيان، يساعد وجود رشح من سطح الأرض (من الأعلى)، كأن يكون من مياه الأمطار أو غير ذلك ليؤدي إلى تهدم سقف الكهف بصورة فجائية وانكشاف الخسفة على السطح مباشرة.

تنتشر ظاهرة الكارست وما فيها من خسفات في مناطق واسعة من العالم، منها مواقع عديدة في إسبانيا، وفي الولايات المتحدة كما هو الحال في فلوريدا ويوتا على سبيل المثال وليس الحصر، وفي قارات آسيا وأمريكا الجنوبية وأوروبا. وتمتاز المناطق المحيطة بسد الموصل بكونها من المناطق المتكفهة جدًا. وفي الشكل (11) صورة لخسفة أرضية في الصخور الجبسية قرب مدريد في إسبانيا.



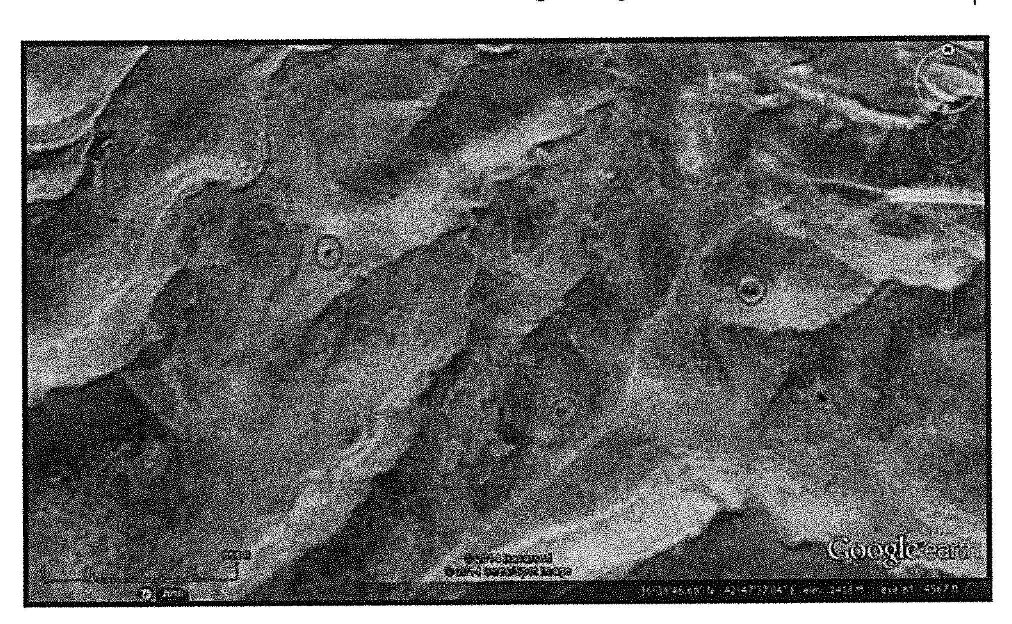
شكل 11: خسفة أرضية في منطقة جبسية قرب مدريد - إسبانيا

وتنتشر ظاهرة الكارست والخسفات الأرضية في العراق أيضًا خاصة في تركيب الفتحة (الفارس الأسفل) والذي يظهر بكثرة في المنطقة الممتدة من منطقة الفتحة امتدادًا إلى شمال مدينة الموصل، ويشغل تكوين الفتحة (تكوين الفارس الأسفل) الحاوي على الصخور الجبسية والأنهايدرايت والصخور الكلسية الطباشيرية جزءًا

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press /سحب ثالث/ سد الموصل

كبيرًا في أسس سد الموصل، كما سبق تفصيله في الفصل الثاني في وصف الحالة الجيولوجية لأسس السد، هذا بالإضافة إلى تكوين الجريبي الذي يظهر جليًا في الجانب الأيمن من السد.

في الشكل (12) صورة فضائية مستسقاة من موقع (Google Earth) تبين عدد من الخسفات الأرضية إلى الشمال الغربي من سد الموصل وعلى مسافة قريبة منه وقد تم تأشير تلك الخسفات بالدوائر الحمراء.



شكل 12: الدوائر الحمراء تؤشر إلى خسفات أرضية في الجانب الأيمن من خزان سد الموصل. الصورة مأخوذة من موقع (Google Earth)[18]

إن تكوين الجريبي الذي يتألف من الصخور الكلسية الطباشيرية والمارلية هو أيضًا من أنواع التكوينات ذات قابلية الذوبان في الماء ولكن بدرجة أقل من الصخور الجبسية والأنهايدرايت في تكوين الفتحة، غير أن احتمالات ظهور الكارست فيه موجودة أيضًا. ومما تجدر الإشارة إليه هو أن هذا التكوين يشابه تمامًا من الناحية الليثولوجية تكوينًا آخر ينتشر في حوض الفرات الأعلى ويسمى تكوين الفرات، وأن تكوين الفرات يظهر بوضوح في منطقة سدّ حديثة وما حوله، مما يفسر السبب في انتشار ظاهرة الكارست في تلك المنطقة أيضًا، حيث تظهر العديد من الخسفات في منطقة الجنوب الشرقي وجنوب خزان سد حديثة.

كما لوحظ وجود خسفة ضخمة جدًا لا تبعد سوى بضعة كيلومترات جنوب غرب

مركز ناحية حديثة إلى اليسار من تفرع طريق حديثة من الطريق العام المؤدي إلى عنة، ويطلق السكان المحليون على هذه الخسفة الكبيرة نسبيًّا اسم (خسفة سلمان روزة)، ويعود السبب في هذه التسمية إلى سقوط سيارة ركاب يقودها المدعو سلمان روزة في الخسفة المذكورة وموت ركاب السيارة، وكان السبب عدم وضوح الرؤية ليلًا وخاصة بأن الطريق لم يكن مبلطًا. وفي الشكل (13) صورة للخسفة المذكورة التي يبلغ عمقها ما يزيد عن خمسة وعشرون مترًا.



شكل 13: خسفة سلمان روزة في الجنوب الغربي من ناحية حديثة إلى اليسار من تفرع طريق حديثة من طريق عنة العام

مما تقدم، فإن ظهور خسفات أرضية حول سد الموصل لم يكن أمرًا مستغربًا أو غريبًا فظهرت الخسفات الأولى في الحافة اليمنى من الخزان في أيلول من سنة (1986) عندما تم خفض منسوب الخزن إلى منسوب (309) مترًا فوق سطح

البحر، بعدما كان قد وصل إلى منسوب (316,4) مترًا فوق سطح البحر في موسم الفيضان الأسبق، وقد اكتشفت هذه الخسفات عند معاينة وتدقيق حافات الخزان.

لقد كشف التدقيق المذكور عن ظهور سلسلة من قنوات الذوبان والخسفات في منطقة لا تبعد سوى (150) مترًا عن منطقة تماس الكتف الأيمن للسد مع الضفة اليمنى للخزان، إضافة إلى ظهور خسفة أرضية كبيرة جدًّا على مسافة لا تبعد سوى حوالي الكيلومتر الواحد عن الخسفات الأولى، وكانت كافة هذه الخسفات تشير إلى حدوث ذوبان شديد في طبقات جبسية متكشفة داخل الخزان.

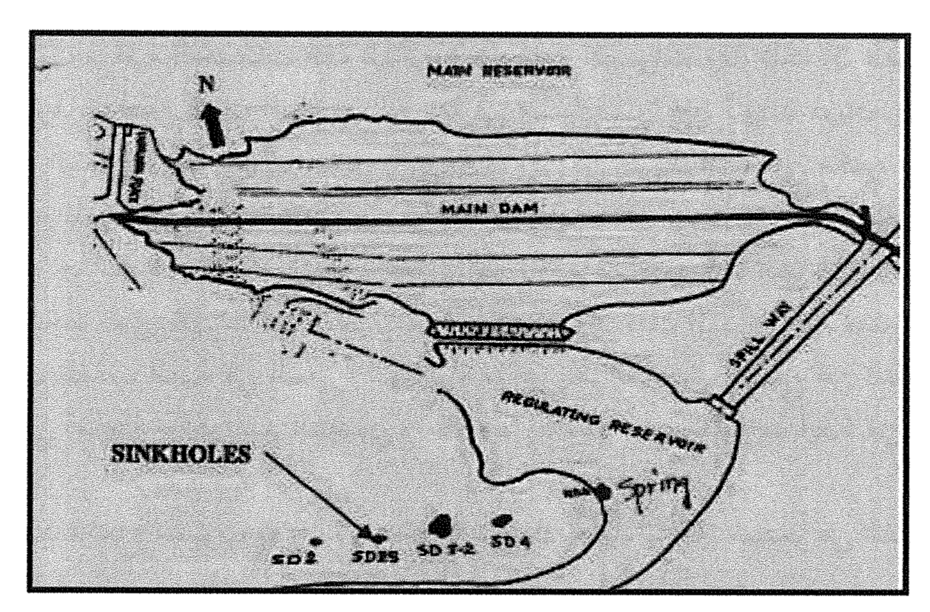
من الدراسات التي أجريت على هذه الحالة كان هناك احتمالان:

الأول: احتمالية استمرار الرشح في عمق المنطقة إلى يمين السد بصورة عمودية على المحور مما قد يؤثر في سلامة المنشآت في هذه الضفة.

أما الاحتمال الثاني: فهو أن يمتد الرشح بعيدًا في الجهة اليمنى، مما يزيد من تدفق المياه إلى المكمن المائي في باطن طية وادي المالح.

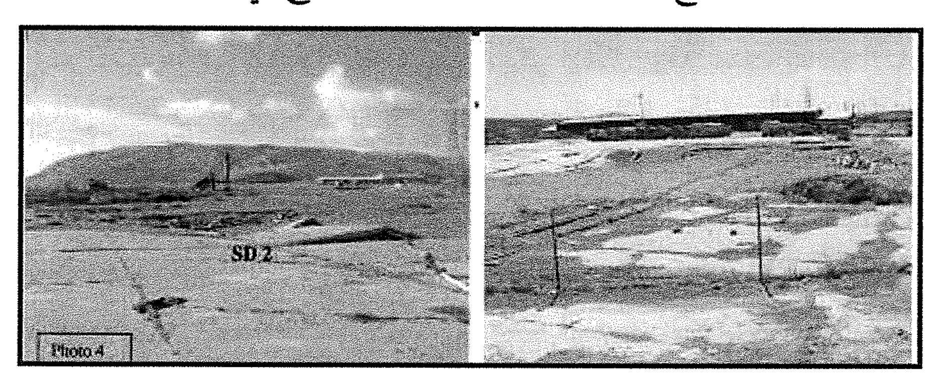
وزيادة في الحيطة، أجريت أعمال تحشية إضافية في ستارة التحشية في هذا الجانب ومدها مسافة إضافية لزيادة حمايته وتقليل التغذية إلى مكمن وادي المالح الذي كان يسبب الكثير من المشاكل عند تنفيذ محطة التوليد بالخزن والضخ (Pump Storage Scheme) في باطن الطية المذكورة. وقد أجرى الاستشاريون دراسة هيدروجيولوجية بواسطة نموذج رياضي لتحديد طول واتجاه مسار امتداد الستارة في الجانب الأيمن لتحقيق هذه الأهداف[19].

من المعلوم أنَّ تكوُّن وظهور أية خسفة أرضية قد يستغرق بعض الوقت؛ لذا، نرى ظهور عدد من هذه الخسفات بعد أربعة سنوات من ملْء الخزان، فقد ظهرت وتطورت مجموعة منها خلال السنوات من (1992) إلى (1998) في الجانب الأيمن على بعد لا يزيد عن (900) متر من مؤخر السد وكانت تلك الخسفات متقاربة، وتمتد على استقامة واحدة، وهي: الخسفات SD2, SD2S, SD3-2, SD4، المبينة في الشكل (14).



شكل 14: الخسفات الأرضية مؤخر السد في الجانب الأيمن

ومن مراقبة تطور هذه الخسفات من بدء ظهورها سنة (1992) فإنها استمرت بالهبوط بمعدل ثابت وكان هذا المعدل بحدود (0,25) مترًا سنويًا ثم انخفض معدل الهبوط إلى النصف تقريبًا في سنة (1998)، وتراوح الهبوط التراكمي في هذه الخسفات بين (3) أمتار و(3,5) أمتار. أما أعلى هبوط تراكمي، فتم تسجيله في أكبر تلك الخسفات وهي: SD4 وكان مقداره (5) أمتار، وتم بمعدل هبوط سنوي بلغ (0,38) مترًا سنويًا. ويظهر الشكل (15) الخسفة (SD2) في المنطقة المرصوفة التي كانت تستعمل ساحة لآليات ومخازن المقاول، كما أن الشكل نفسه يظهر الخسفة نفسها بعد تطورها وتنظيف الساحة من الخرسانة. ويمكن تقدير حجم فتحة هذه الخسفة بالمقارنة مع طول عمود خط الهاتف الواضح في الصورة.



شكل 15: الخسفة في ساحة الآليات ومخازن المقاول SD2 قبل وبعد تنظيف الأرضية الخرسانية

تمت مراقبة الخسفات آنفة الذكر خلال تلك السنوات وقد ثبت أن ظهورها وتطورها نتج من ذوبان الصخور الجبسية في المنطقة، وتكوّن قنوات ذوبان رئيسية تحت السطح، وأن هذا قد حصل بالدرجة الأولى من جريان المياه من مكمن وادي المالح للمياه الجوفية باتجاه يصب في مجرى النهر، فقد زادت تغذية هذا المكمن الكبير جدًا نتيجة لامتلاء وتشغيل الخزان مما ساهم في تطور قناة الجريان والذوبان في الخط الذي ظهرت فيه الخسفات المذكورة. وإن تلك القنوات توسعت كثيرًا بسبب تذبذب المياه في البحيرة التنظيمية مؤخر سد الموصل والناتج عن التشغيل اليومي لمحطة توليد السد التنظيمي، مما جعل المياه تغذي القنوات أيضًا من جهة النهر.

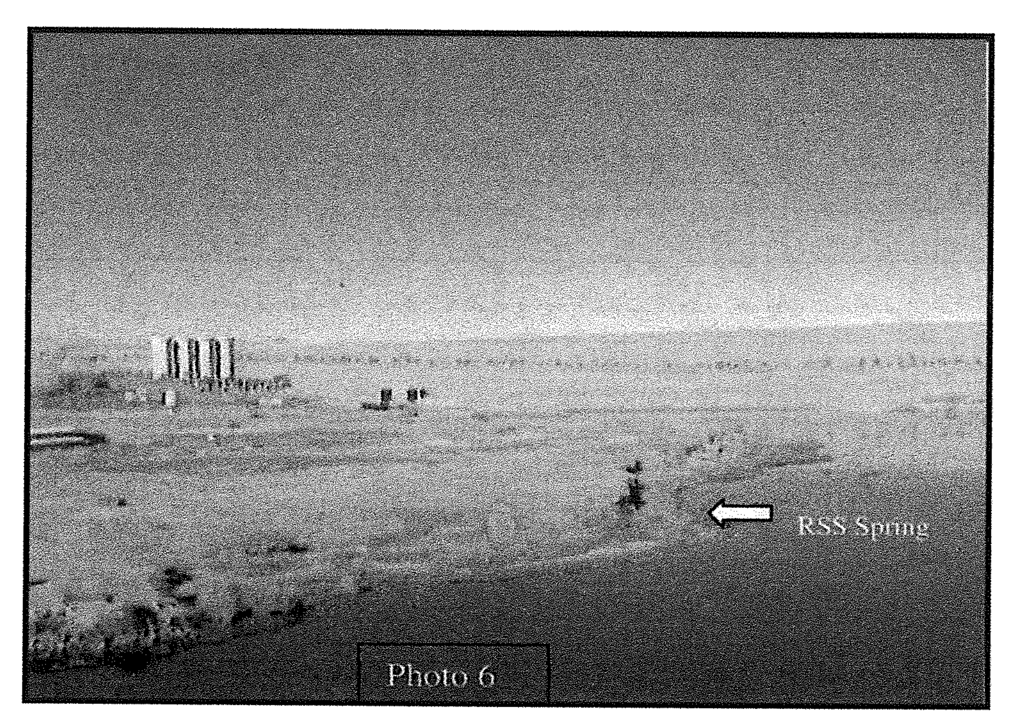
عند ارتفاع منسوب البحيرة التنظيمية تتحرك المياه بشكل مستمر في القنوات الباطنية وتزيد من الذوبان وتكوّن كهوفًا كبيرة، وعند زيادة حجم الكهوف بسبب استمرار ذوبان طبقات الصخور الجبسية فإنّ ما تبقى من الغطاء القريب من سطح الأرض لم تتحمل وزنها فانهارت كاشفة الخسفات على سطح الأرض.

ولا يمكن إغفال ظهور عيون مائية لرشح المياه في الضفة اليمنى من النهر، ولعل أهمها تلك العين المقابلة لمنشأ مذب المسيل على الضفة الأخرى من النهر والتي انكشفت بعد نحر وانجراف ما يقرب من أربعة أمتار من التربة الفيضية المتكونة من الغرين والحصى والرمل والتي كانت تغطيها بسبب تشغيل المسيل الرئيسي لتصريف المياه الفائضة في أحد مواسم الفيضان خلال تلك الفترة.

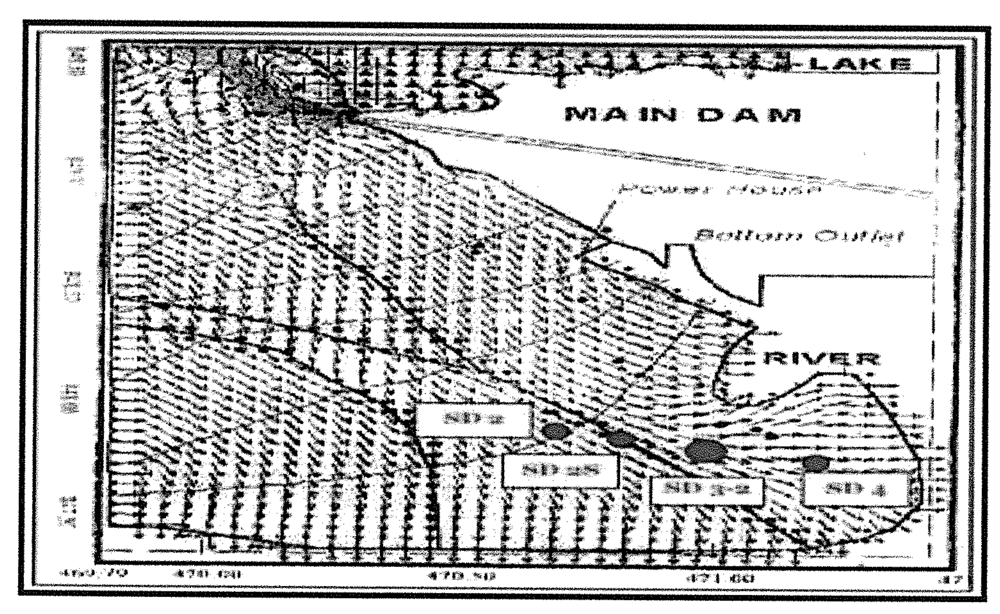
ويلاحظ من الشكل (14)، بأن هذه العين تقع على محور الخسفات نفسه SD2, SD2S, SD3-2, SD4 التي سبق التحدث عنها. وقد تم قياس تصريف هذه العين وكان بحدود (360) لتر/ثانية. ويظهر الشكل (16) موقع العين المذكورة التي تم تأشيرها في الشكل (14) آنف الذكر أيضًا. وقد بينت نتائج التحليل الكيميائي لمياه هذه العين، بأنها كانت ذات شحنة عالية جدًا من أملاح الكبريتات وأن مصدرها هو مكمن وادي المالح، مثل تلك الخسفات المشار إليها.

ويبين الشكل (17)، شبكة جريان المياه السطحية (Flow Net) من مكمن وادي المالح باتجاه مجرى النهر مرورًا بمنطقة الخسفات، كما كشفتها إحدى الدراسات الهيدروجيولوجية التي أجريت في ذلك الحين من قبل الاستشاريين السويسريين[19].

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press /سحب ثالث/ سد الموصل/



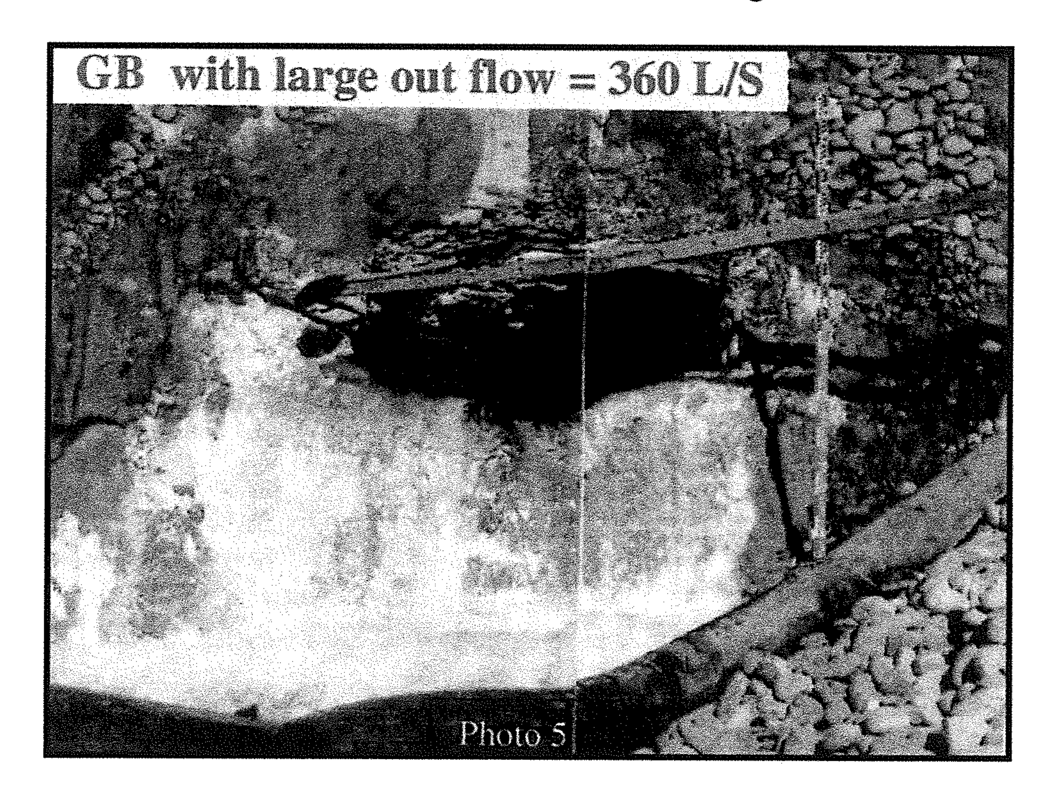
شكل 16: العين المتدفقة من ضفة النهر اليمنى ومصدرها مكمن وادي المالح للمياه الجوفية



شكل 17: شبكة جريان المياه أرضية من مكمن وادي المالح باتجاه مجرى النهر في مؤخر السد

وتجدر الإشارة بأن مكمن وادي المالح للمياه الجوفية أثر كثيرًا في تنفيذ أعمال المشروع، حيث كانت المياه المتدفقة منه داخل إنشاءات محطة الخزن والضخ

(Pump Storage Scheme) في باطن طية وادي المالح ذات كميات كبيرة جدًّا، وقد تطلَّب الأمر القيام بأعمال حماية مكثفة ومكلفة تضمنت تحشية حول كهوف الحفريات وإنشاء أروقة لجمع وتصريف مياه الرشح العالي جدًّا. وظهر الرشح أيضًا بتدفقات عالية جدًّا في حفريات نفق المياه الخاص بهذه المحطة (Tailrace Tunnel) مما أعاق العمل في حفر وتبطين النفق المذكور، ولم يكن بالإمكان التقدم بالحفر بأي مسافة إضافية إلا بعد تحشية وجه الحفر لقطع جريان الماء من خلاله تمهيدًا للتفجير والتقدم خطوة أخرى وهكذا. ومثال على العيون الكبيرة جدًّا التي تدفقت عند حفر النفق المذكور، تلك المبينة في الشكل (18) التي بلغ حجم تصريفها (360) لترًا في الثانية وكانت مياهها ذات تركيز عالٍ جدًّا بالكبريتات، حيث كانت تتدفق من خلال طبقة من البريشيا الجبسية، ولم يتمكن غلقها إلا بعد معالجات كثيفه جدًّا من أعمال التحشية.



شكل 18: تدفق مياه الرشح من إحدى أكبر العيون التي ظهرت عند حفر نفق مياه مشروع الخزن والضخ

إن المياه الجارية من مكمن وادي المالح الجوفي بشحنتها العالية من أملاح الكبريتات تظهر بما لا يقبل الشك حصول الذوبان في الصخور الجبسية التي تجري

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/

من خلالها، ليس في منطقة السد فحسب، بل من مصادر المياه البعيدة من داخل الخزان والأراضي حوله أيضًا، وأن الضاغط المائي الإضافي من مياه الخزان إنما يزيد من تسارع الذوبان في أسس السد وعموم المنطقة، وهذا ما قد يفسر كثرة الخسفات الأرضية في الجانب الأيمن من الخزان في مقدم السد.

لقد استمرت حالات الذوبان بالظهور بأشكال مختلفة خلال مدة تشغيل الخزان، ففي سنة (1996) ظهر صدع على سفح ضفة الخزان اليمنى لا يبعد سوى (400) مترًا عن كتف السد في هذا الجانب، حيث ينحدر السفح نحو الخزان بالقرب من مرسى الزوارق فيه. وتطور الصدع المذكور طولًا واتسع بالعرض واتخذ امتداده شكلًا هلاليًا، مما أشار إلى أن الكتلة الصخرية المحصورة بينه وبين الخزان كانت في حالة حركة انزلاقية باتجاه الخزان في منطقة مرسى الزوارق. واستمرت الحركة بحيث أدت قوة الدفع على المرسى المذكور إلى خلخلة وتكسير الأسس الخرسانية للسياج العائد له. وقد توقفت الحركة المذكورة في وقت لاحق من سنة (1997).

وكانت إدارة السد قد عمدت إلى تثبيت ثلاثة رواقم مساحية في نقاط مختلفة على سطح الكتلة المنزلقة، هي النقاط (SU1-1,SU1-2,SU1-3) من أجل رصد حركة الكتلة المذكورة، غير أنها وقعت في خطأ كبير، حيث تم رصد الحركة العمودية فقط ولم ترصد الحركة الأفقية مما يجعل تحليل استقرارية الكتلة في الأبعاد الثلاثة أمرًا صعبًا. كما لم تجر أي محاولة لدراسة استقرارية الكتلة المذكورة للتوصل إلى الأسباب الحقيقية لحركتها واحتمالات تطورها، حتى يمكن الاستفادة منها لدراسة احتمالية حصول الحالة نفسها في مناطق أخرى من حافة الخزان. أما المعلومات التي أمكن الحصول عليها من تقارير إدارة السد فهي كما مبين في الجدول (2):

جدول 2: نتائج رصد الحركة للكتلة المنزلقة في ضفة الخزان اليمنى[20][21]

الراقم	منسوب الراقم (متر فوق سطح البحر)	سنة الرصد	الهبوط الكلي السنوي (سنتيمتر)
SU1-1	333	1996	14.5
		1997	32.5
SU1-2	338	1996	Very Small
		1997	24.8
SU1-3	-----	1996	-------
		1997	Very Small

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press /سحب ثالث/ سد الموصل

لم يرد في تقارير إدارة السد السنوية أي تفاصيل أخرى عن قياسات الرصد وفترات قياسها، عدا عن الهبوط التراكمي السنوي، كما هو مبين في الجدول (2)، أو حتى ما يشير إلى استمرار الرصد بعد سنة (1997) مما يجعل المرء يفسر ذلك بتوقف الحركة واستقرار الكتلة المذكورة.

أما تفسير الأمر برمته، فإن هناك افتراضًا بأن الصدع المذكور مرتبط في باطنه بمجرى ذائب متصل بالخسفات الأرضية في مؤخر السد في الجانب الأيمن، لذا فقد أجريت فحوصات لتتبع الكواشف الملونة (Dye tracing tests)[5] ولم تظهر هذه الفحوصات وجود اتصال مباشر بين هذا الصدع والخسفات مؤخر السد في الجانب الأيمن.

كما يمكن طرح فرضية أخرى لتفسير الانزلاق وهو: وجود طبقة محدودة من الجبسم تحت قاعدة الكتلة الصخرية متصلة بالخزان، وقد أدى ذوبانها نتيجة لتشبع المنطقة بالماء إلى حصول هذا الهبوط والإزاحة. ويمكن أيضًا افتراض وجود عرق خفيف من الطين المشبع بالماء حيث انزلقت الكتلة فوقه.

ولا يمكن الجزم بطبيعة الانزلاق والتأكد من أي من هذه الفرضيات، حيث يتطلب الموضوع حفر آبار للتحري الجيولوجي واستخراج اللباب الصخري للمعاينة والتأكد من موقع سطح الانزلاق وطبيعة الطبقة الجيولوجية التي حصل القص فيها.

ومما يذكر هو أن إدارة السد لم تقدم أي تفسير حول هذه الظاهرة مما يتطلب فتح هذا الملف مجددًا وكشف المزيد عن الحالة المذكورة وإمكانية استعمال مثل هذه المعلومات لتقييم استقرارية ضفاف الخزان خاصة في الجانب الأيمن. ويظهر الشكل (19) صورة للصدع لفتحة ظاهرة الانزلاق المذكور تعطي فكرة واضحة عنه.

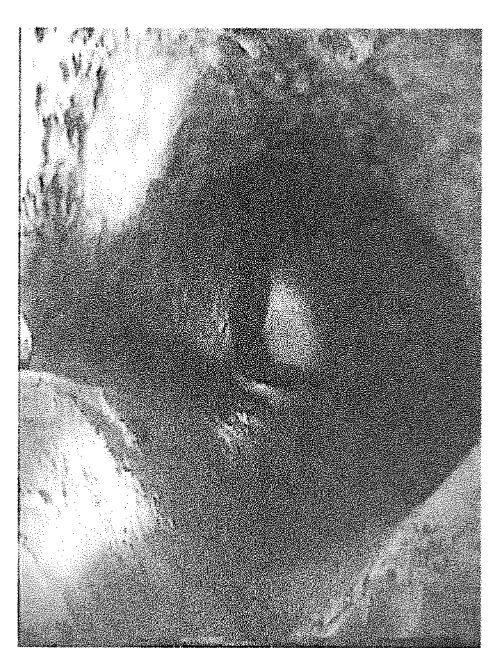


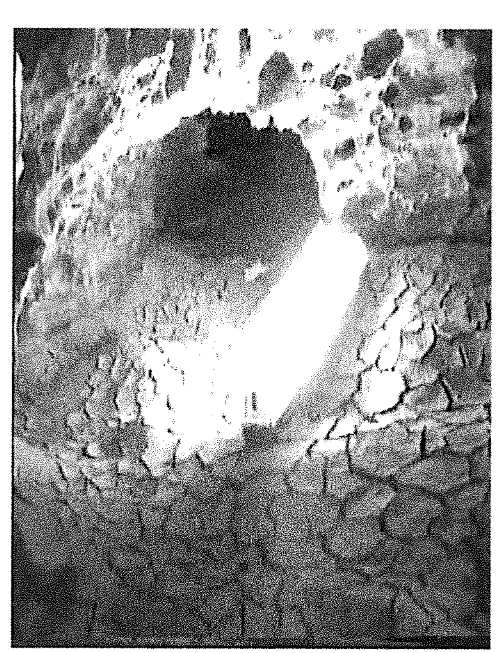
شكل 19: صورة للفتحة العليا لحركة الانزلاق في الجانب الأيمن

بالإضافة إلى ما تقدم، فقد تم اكتشاف نفق متكون بسبب الذوبان في النتوء الحجري القريب من موقع الفتحة العليا لحركة الانزلاق وذلك في آذار (2002)، حيث كان يمتد بالعمق لمسافة غير قليلة، وأظهرت المعاينة البصرية أن الطبقة الصخرية التي اخترقها كانت من الجبسيم/أنهايدرايت إلا أنه لم يتضح فيما إذ كانت من طبقات (GB1) أو (GB2).

ويبيّن الشكل (20) صورًا للنفق المذكور، حيث إن قعره في المدخل كان على منسوب حوالي (315) مترًا فوق سطح البحر؛ أي أن النفق المذكور يبقى تحت منسوب الخزن التشغيلي الأقصى البالغ (330) مترًا فوق سطح البحر لفترة تقرب

من ثمانية أشهر، مما يفسر مقدار الذوبان الكبير فيه. أما ارتفاع النفق فقد كان بحدود (1,3) متر مما يوفر إمكانية دخول شخص منحني فيه من أجل الفحص والتدقيق. ويذكر بأن التاريخ الدقيق لالتقاط الصور كان يوم (9) آذار (2002).





شكل 20: النفق الذائب في الضفة اليمنى قرب الكتف الأيمن للسد

يمكن القول وبكل ثقة، بأن هناك حالة من الحركة الديناميكية المستمرة فيما حول سد الموصل وفي أساساته، وهي حالة جريان المياه الجوفية وما يصاحبها من إذابة وجرف من مواد جبسية ودقائق طينية وكلسية من الطبقات الصخرية المختلفة.

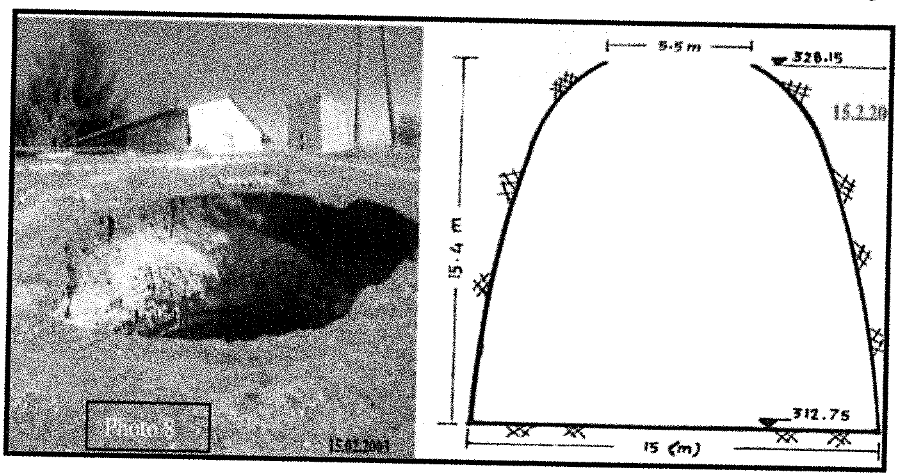
وما يثير المخاوف الكبيرة، هو زيادة حجم مجاري مياه واسعة وكهوف تمتد لتقترب من سطح الأرض نتيجة لهذه العملية، وبالتالي حصول تخسف لسطح الأرض عند رشح أي مياه سطحية من خلال الغطاء العلوي لتلك الفجوات.

وقد ينكشف التخسف بصورة فجائية جدًّا، مثل ما حصل ليلة الخامس عشر من شباط من سنة (2003)، حيث استيقظ العاملون في السد ليجدوا حدوث خسفة كبيرة جدًّا في الضفة اليسرى قرب المخيم السياحي قريبًا من مؤخر السد ولا تبعد عن امتداد ستارة التحشية العميقة في هذا الجانب وجسم السد إلا مسافة بسيطة، وهي المبينة في الشكل (21). وما أثار الدهشة، عدم وجود أي مؤشر سطحي عن وجود هذه الكهف الكبيرة نسبيًّا قبل انكشافه.

من المعاينة البصرية والمساحية لهذه الخسفة، تبين أن شكلها يشبه التنور وقد انهدم السقف المكون من تربة خفيفة من الطمي وطبقة من المارل إلى داخل التجويف، بسبب رشح مياه المطر من خلاله، وربما كان هناك أيضًا اتصال مع مياه صرف المجاري من المخيم السكني القريب. أما منسوب سطح الأرض في فوهة الخسفة فقد كان (328,15) مترًا فوق سطح البحر بينما القعر كان في منسوب (312,75) مترًا فوق سطح البحر؛ أي: أن العمق الكلي قد بلغ (15,4) مترًا.

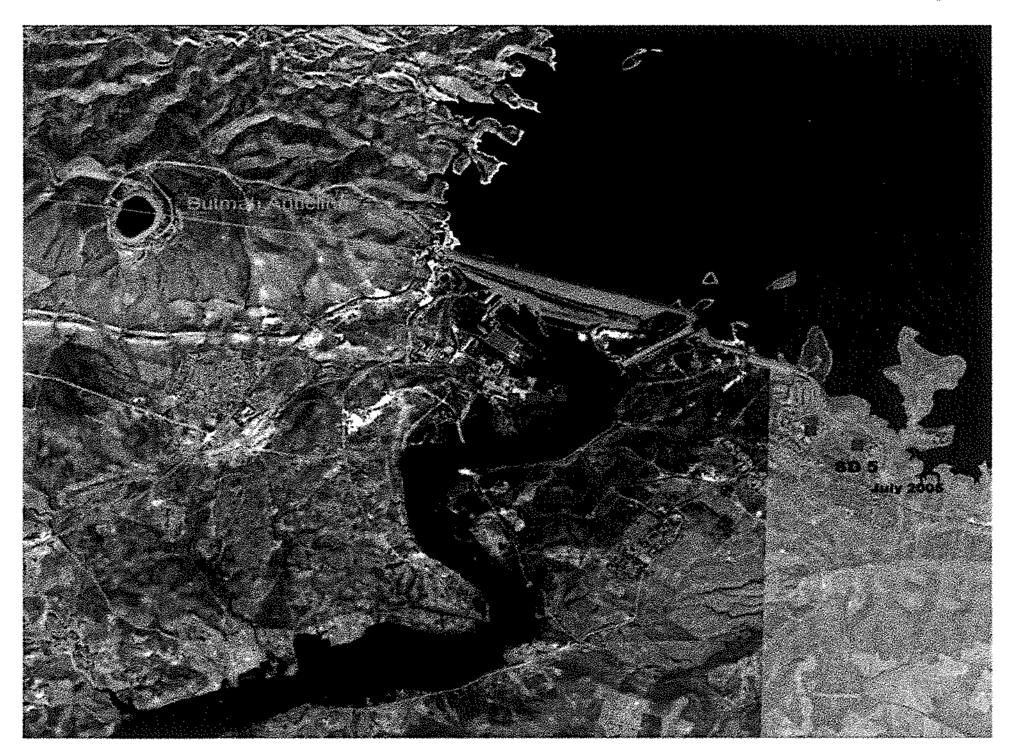
وقد تم ترسيم الخسفة جيولوجيًا فكان من الواضح أن سبب تكون الكهف هو وجود طبقة من الصخور الجبسية/أنهايدرايت هي في الغالب (GB3)، وإن قاع الخسفة متصل بعدد من القنوات الذائبة أيضًا مما جعل الخسفة تعمل عمل البالوعة وتصّرف المياه من حولها.

ومما يؤيد هذا الأمر، أنه قد تم حفر بيزوميتر قريبًا من الخسفة المذكورة لكن تبين بأنه كان جافًا وخاليًا من المياه. وعند غلق هذا البيزوميتر بواسطة التحشية فقد استهلك (250) طن من مواد التحشية الجافة. وقد استمر الهبوط في الخسفة فتم دفنها مبدئيًا بحوالي (1200) مترًا مكعبًا من الحصى والرمل النظيفين، إضافة إلى (3000) متر مكعب أخرى دفنت على مرحلتين لاحقتين؛ الأولى: كانت في آذار من سنة (2003)، والثانية: في تشرين أول من سنة (2004)؛ مما يعكس اتساع شبكة القنوات الذائبة الأرضية في الموقع وارتباطها مع بعضها. وقد بقي عدم الاستقرار في هذه الخسفة على حاله رغم ما بذل من جهود كافة واستمر الهبوط بعد كل ذلك، حيث سجل ما مقداره (0,5) متر في آذار من سنة (2005).



شكل 21: صورة الخسفة الأرضية في الجانب الأيسر بعد تنظيفها، ويظهر ايضًا مخطط لمقطع الخسفة كما تم توثيقه من قبل العاملين في السد

ولقد انكشفت فيما بعد أيضًا خسفة جديدة إلى الشرق من السد الثانوي في تموز من سنة (2005) وأطلق عليها (SD5)، في الموقع المؤشر باللون الأحمر في الشكل (22). وقد تم حفر ستة آبار للتحري الجيولوجي حولها، حيث تبين أنها تكونت نتيجة لتهدم الغطاء السطحي من التربة السطحية إلى داخل الفجوة المتكونة في صخور الطفل نتيجة للذوبان فيه، حالها حال الخسفة التي سبقتها قرب المخيم السياحي. لذا، يمكن القول بأن استمرار تكوُّن الخسفات في مؤخر السد وقريبًا منه يشكل خطرًا داهمًا على سلامته.



شكل 22: موقع الخسفة (SD5) إلى الشرق من السد الثانوي وتظهر في الصورة الخسفات الأخرى كافة (باللون الاحمر)

وبصورة عامة، يمكن الاستدلال على وجود العديد من الخسفات القديمة في محيط سد الموصل من شكل التضاريس المحلية، حيث تترك هذه الخسفات بعد تهدمها حفرًا وانخفاضات في السطح وكما سبق بيانه في الشكل (12). وهناك أيضًا ـ ولا يزال ـ العديد من الكهوف الكبيرة والقريبة من السطح التي يمكن أن تنكشف فجأة عن خسفات جديدة، فلقد سبق أن تم الاستدلال على وجود مثل هذه الحالات عند حفر آبار التحريات الجيولوجية وسقوط وفقدان قضبان ورؤوس الحفر فجأة في الكهوف التحت سطحية.

غني عن القول، بأن التخسفات والتكهفات التحت سطحية ليست كلها ناتجة عن امتلاء الخزان وزيادة الجريان في الأسس، حيث إن الكثير منها كان موجودًا أصلًا قبل بناء السد وكانت جزءًا من حالة الكارست المتطورة تاريخيًّا في الموقع، كما سبق الحديث عن ذلك عدة مرات في هذا الكتاب.

وليس هناك أيضًا من شك ألبتة، بأن بناء السد وامتلاء الخزان وتذبذب مناسيبه أدوا جميعًا إلى زيادة في شدة الجريان والذوبان في الصخور الجبسية والأنهايدرايت وزيادة التعرية في الصخور الكلسية وزيادة التكهفات بصورة كبيرة.

ويمكن القول بأن تكرار تحشية المناطق نفسها في ستارة التحشية العميقة لمقطع النهر يشير إلى هذا النشاط المتزايد في عملية الإذابة والتعرية.

يمكن الوصول في هذا الموضوع إلى خلاصة مهمة هي: أن تكون الخسفات في محيط السد وفي الخزان وتحت الأسس مرتبطة أصلًا بوضعية الكارست القديمة في التراكيب الجيولوجية، وأن التطورات الجديدة في هذه المناطق مرتبطة بزيادة الجريان وتنشيط الذوبان والتعرية في هذه التراكيب نتيجة امتلاء وتشغيل الخزان. وقد توضحت الأمور بدرجة أكبر في ضوء ما انكشف على سطح الأرض من خسفات، وما ظهر منها عند مسح قاع الخزان، وكما هو مبين في الشكل (9).

أما فيما يخص تطور أي خسفة تحت قاعدة السد نفسه، فلا يوجد في الوقت الحالي أي تقنية لكشف مثل هذه الخسفات، إلا أنه يمكن الاستدلال مبكرًا على الهبوط في مثل هذه الحالات من قياسات أجهزة الاستطالة (Extensometers) المزروعة تحت الرواق والتي يمكن أن تساعد على كشف هذا الهبوط بدرجة كبيرة. ويمكن أيضًا الاستفادة من البيزومترات المنصوبة في الرواق المذكور للاستدلال على أي زيادة في التكهفات، كما يمكن أيضًا جمع نماذج للمياه لقياس تراكيز الأملاح الذائبة وللوصول إلى النتيجة نفسها.

لقد سبب موضوع تطور الخسفات ـ وكذلك أعمال التحشية المتواصلة في الستارة العميقة في مقطع النهر ـ الكثير من القلق لدى وزارة الموارد المائية خلال الفترة التي أعقبت سنة (2005)، مما حدى الأمر بمجلس الخبراء العالمي الجديد؛ والذي ألفته الوزارة في سنة (2006) إلى التوصية في أوائل سنة (2007) بعدم تجاوز منسوب (319) مترًا فوق سطح البحر كأعلى منسوب تشغيلي للخزان، بدلًا من المنسوب الأصلي حسب التصميم البالغ (330) مترًا فوق سطح البحر، ولغاية ما تثبت الدراسات المستقبلية أي تطور إيجابي، وهو ما لم يحصل لغاية الآن.

5 ـ الحالة الجيولوجية العامة وآثارها على السد

من أجل تقييم الحالة الجيولوجية العامة وآثارها على سد الموصل، قام مركز البحث والتطوير التابع لفيلق المهندسين في الجيش الأمريكي بإعداد دراسة مهمة عن الحالة الجيولوجية العامة لسد الموصل نشرت في أيلول من سنة (2007)[22]، وتضمنت الدراسة استنتاجات واقعية قيِّمة للغاية ولكنها لا تخلو من نظرة تشاؤمية حول مستقبل السد.

استخدمت الدراسة مؤشر نوعية الصخور (RQD) الذي ورد ذكره في الهامش (35) من الفصل السادس، ولا بأس من الحديث عنه مجددًا هنا طالما قد استخدم فعلًا في هذه الدراسة.

يعرف المؤشر المذكور بأنه مجموع الطول الكلي لقطع اللباب المستخرج التي يزيد حجمها عن (10) سنتيميتر مقسومة على الطول الكلي للباب المستخرج ويعبر عنه كنسبة مئوية. وهذا يعني بأن القطع المتفتتة من اللباب كافة التي تقل عن (10) سنتمر طولًا لن تدخل في قيمة المؤشر، كما أن وجود أي تشقق أو فراغ في النموذج لن يكون ممثلًا أيضًا في هذه النسبة المئوية، وعليه؛ فإنه كلما كانت قيمة المؤشر عالية كلما كانت الطبقة الصخرية التي استخرج منها اللباب أكثر تماسكًا وأقل تشققًا وأكثر قوة والعكس صحيح أيضًا، وتصنف الصخور حسب هذا المؤشر كما في الجدول (3).

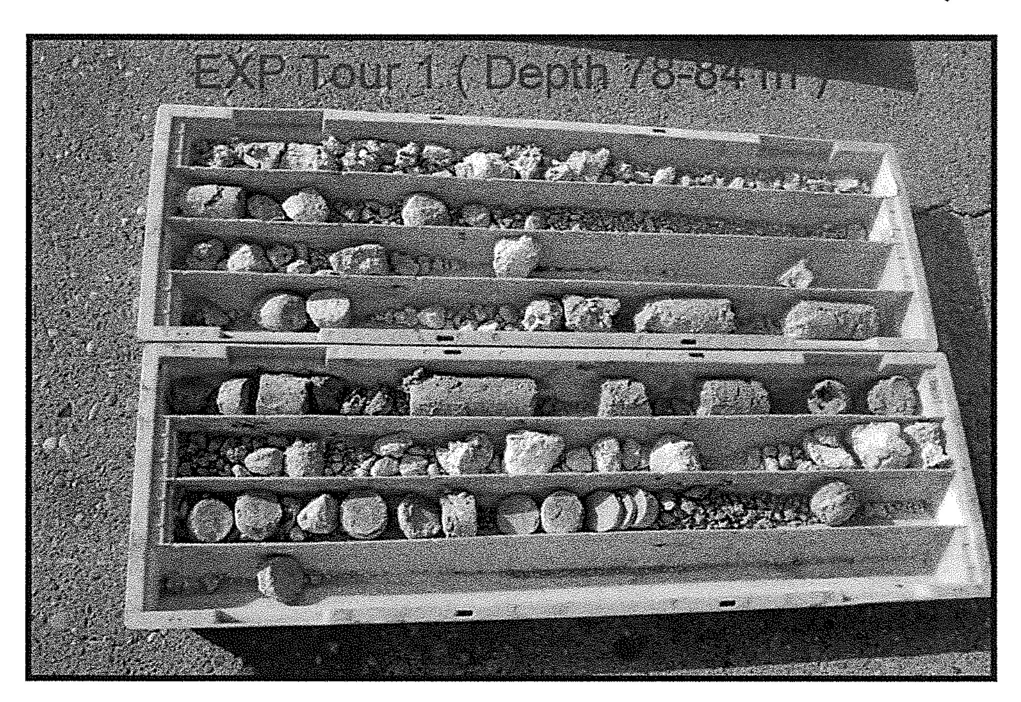
جدول (3): تصنيف الصخور بموجب مؤشر النوعية (RQD)[22]

RQD	نوعية الصخور
> 25%	ضعيفة جدا
25-50 %	ضعيفة
50-75%	متوسطة
75-90%	جيده
90-100%	ممتازة

مما تقدم، فقد قارنت الدراسة بين مؤشر نوعية الصخور في نماذج اللباب المستخرج من آبار التحري العديدة التي جرى تنفيذها سنة (1989) على طول الخط المتعامد على محور السد الثانوي والموازي للجانب الشرقي للمسيل الرئيسي مع

مؤشر النوعية في اللباب المستخرج سنة (2006) من ستة آبار للتحري نفذت في المنطقة حول الخسفة رقم (SD5) شرق السد الثانوي، وكانت النتائج مثيرة للقلق حقًا، فقد تراوحت قيمة المؤشر بين (45%) و(65%) في سنة (1989) بينما انخفضت إلى قيم تراوحت بين (الصفر)، و(20%) في سنة (2006). ويمكن ملاحظة حالة بعض نماذج اللباب المذكور في الشكل (23).

لقد كان من الواضح بأن هذا التردي قد جاء نتيجة لذوبان كبير ونشاط غير اعتيادي في هذا الذوبان حصل في الجانب الأيسر بسبب امتلاء الخزان وتشغيله وازدياد الضاغط المائي واشتداد الرشح. كما يعني هذا الأمر فيما يعنيه أيضًا، أن بعضًا من الطبقات الصخارية في أساسات السد الثانوي والمسيل الرئيسي الذين كان ينظر إليها في فترة التنفيذ على كونها صخور كفوءة ومقتدرة على تحمل الأحمال المسلطة عليها من هذه المنشآت قد لا تستطيع التحمل أكثر من ذلك مستقبلًا.



شكل 23: نماذج من اللباب المستخرج من ثقوب التحري قرب الخسفة الأرضية (SD5)[23]

أما في مقاطع ستارة التحشية العميقة في مجرى النهر القديم، التي تكررت فيها أعمال الصيانة طيلة الفترة من (1987) لغاية (2007) وهو تاريخ الدراسة، فقد تم تدقيق كميات مواد التحشية التي تم حقنها خلال تلك الفترة والمواقع التي حقنت

فيها، فوجد بأنه في بداية الفترة كان آخر مقطع شهد إعادة تحشية هو المقطع (79) في مجرى النهر القديم، وأن المقطعين (80) و(81) كانا في ذروة التردي وشهدا تكرار أعمال التحشية (4) مرات إلى (5) مرات سنويًّا. أما بعد عشرين سنة أي في سنة (2007) فقد لوحظ تحرك جبهة الذوبان شرقًا وبالتالي تكرار المعالجات أيضًا في المقاطع لغاية مقطع (69)؛ أي: أنه خلال مدة العشرين سنة هذه اتسعت جبهة الذوبان لتشمل عشرة مقاطع جديده نحو الشرق؛ أي: بحدود (350) مترًا وبمعدل يزيد عن (17) مترًا سنويًّا.

واستكمالًا لهذا الموضوع، فقد دققت الدراسة في مؤشرات نوعية الصخور من لباب ثقوب آبار للتحري نفذت سنة (1989) من داخل رواق التحشية مع مثيلاتها التي جرت عند تنفيذ أعمال التحشية الأصلية وكانت النتيجة أن نماذج كثيرة من اللباب قد وصل مؤشر النوعية فيها إلى الصفر؛ أي: اختفاء مادة الصخر الأصلي في تلك النقاط تمامًا ليحل محلها مواد التحشية المتفتتة.

وتكمن أهمية هذه الدراسة من حيث إنها تعطي مؤشرات عن حالة الأسس بعد عشرين سنة من امتلاء وتشغيل الخزان، وتكشف عن التردي الواضح بسبب استمرار الرشح والذوبان.

ويمكن إجمال النقاط التالية باعتبارها الخطوط العريضة للدراسة المذكورة:

- إن ظاهرة الذوبان تحت السطح في المنطقة، هي حالة تعود في الأصل إلى العصور القديمة، إلا أن التسارع الحاصل بالذوبان المذكور قد نتج من قبل تدخل الإنسان بإنشاء السد وخلق الخزين المائي الكبير عند امتلائه. وأدى هذا الأمر إلى زيادة حدة الذوبان في الصخور الجبسية والأنهايدرايت، وازدياد في حجم التكهفات والفراغات. كما أنه ورغم أن هذه الزيادة الكبيرة قد تم تأشيرها ورصدها في الجانب الأيسر وفي مقطع مجرى النهر القديم من خلال قياسات تصاريف الرشح والتحاليل الكيمياوية لنماذج المياه، إلا أنه لا يمكن التوصل بأي تقنية متوفرة حاليًّا لمعرفة حجم التكهفات الناتجة بدقة ولا كيفية توزيعها وانتشارها تحت السطح. أما الخطورة الحقيقية فتكمن في الظهور المفاجئ للخسفات الأرضية وانكشافها على سطح الأرض دون سابق إنذار.

- إن تنوع المكونات المعدنية في التراكيب الجيولوجية في أسس السد، قد نشأ من عمليات الترسيب المتتالية في عصر المايوسين مما خلق سطوحًا فاصلة واضحة

بين هذه التراكيب، وهذا بدوره أدى إلى نشوء مجالات ضعف طبيعية على امتداد هذه السطوح ساعدت على تسرب المياه من خلالها، وبالتالي تقدم مجالات الذوبان في الاتجاهين الأفقي والعمودي. كما أن الخزان في سد الموصل، يشكل مصدرًا غير متناهٍ من المياه العذبة. لذا، فإن تغذية الطبقات الجبسية والأنهايدرايت غير المشبعة يستمر بدون توقف، مما يؤدي بالتالي إلى استمرار هذا الذوبان.

- إن زاوية الميل للطبقات الصخرية (Dip) في الجانب الأيسر مؤخر السد مباشرة، قليلة ولا تتجاوز (6) درجات، ويكون هذا الميل بالاتجاه الجنوبي الشرقي. لذا، فإن جريان المياه الجوفية يستمر بهذا الاتجاه في المنطقة المذكورة. كما لوحظ أيضًا زيادة كميات الرشح بصورة كبيرة في هذا الجانب عندما يرتفع منسوب الخزن إلى ما فوق منسوب (318) مترًا فوق سطح البحر، وهذا بدوره يعود إلى نوع وطبيعة الطبقات الصخارية فوق هذا المنسوب.

أما الطبقات الصخارية في أقصى الشرق من جسم السد، فهي أفقية؛ لذا، يقل الجريان والرشح في تلك المنطقة، كما أن الانحدار الشديد في طبقات طية وادي المالح في الكتف الأيمن يقلل من هذا الرشح كثيرًا ويقلل من خطر الذوبان هناك.

- أوردت الدراسة أيضًا، العديد من الملاحظات حول الرشح والذوبان في مجرى النهر القديم، غير أنه من الأفضل أن يتم إيجاز تلك الملاحظات في الفصل الثامن من هذا الكتاب عند بحث أعمال صيانة ستارة التحشية هناك، وذلك للترابط بين ظاهرة الرشح وتردي حالة الستارة المستمرة وتكرار تلك الأعمال بصورة مستمرة.

مما تقدم، يمكن التوصل إلى نتيجة ثابتة غير قابلة للشك بأن حالة الأسس الآن بعد عشرة سنوات من إعداد الدراسة آنفة الذكر هي أسوأ كثيرًا مما كانت عليه في سنة (2007) وخاصة في مجرى النهر القديم بعد توقف أعمال صيانة ستارة التحشية العميقة في حزيران (2014) بسبب الظروف المعروفة التي مرت بالموقع منذ ذلك التاريخ. وهذا هو الشيء الذي كشفت عنه دراسة جديده قام بها فيلق المهندسين في الجيش الأمريكي صدرت في نهاية سنة (2015) والتي سوف يتم الخوض بتفاصيلها عند بحث دراسات تقييم سلامة السد في الفصل العاشر.

الهوامش

(1) **RQD:** See footnote (35), chapter 6.

(2) The Following table gives the relative hardness of ten minerals according to Mhos.

Mohs Scale of Mineral Hardness

In 1812 the Mohs scale of mineral hardness was devised by the German mineralogist Frederich Mohs (1773-1839), who selected the ten minerals because they were common or readily available. The scale is not a linear scale, but somewhat arbitrary.

Hardness	Mineral	Associations and Uses
1	Talc	Talcum powder.
2	Gypsum	Plaster of Paris. Gypsum is formed when seawater evaporates from the Earth's surface.
3	Calcite	Limestone and most shells contain calcite.
4	Fluorite	Fluorine from fluorite prevents tooth decay.
5	Apatite	Apatite is a mineral in vertebrate bones and teeth.
6	Orthoclase	Orthoclase is a feldspar, and in German, "feld" means "field".
7	Quartz	Quartz is the most common mineral in the Earth's crust.
8	Topaz	The November birthstone. Emerald and aquamarine are varieties of beryl with a hardness of 8.
9	Corundum	Sapphire and ruby are varieties of corundum. Twice as hard as topaz.
10	Diamond	Used in jewelry and cutting tools. Four times as hard as corundum.

(3) **Transmissibility:** It is a measure of how much water can be transmitted horizontally, such as to a pumping well. The Coefficient of transmissibility is expressed in (M^2 per day) from a one meter wide long aquifer vertical strip that extends to the full height of the aquifer.

(4) **Sinkhole:** is a depression or hole in the ground caused by some form of collapse of the surface layer. Most are caused by **karst processes**-for example, the chemical dissolution of **carbonate rocks** or gypsum. Sinkholes vary in size from 1 to 600 m (3.3 to 2,000 ft) both in diameter and depth, and vary in form from soil-lined bowls to bedrock-edged chasms. Sinkholes may form gradually or suddenly, and are found worldwide.

(5) **Dye tracing**: It is the tracking and tracing of various **flows** using **dye** added to the **liquid** in question. That is, it uses dye as a **flow tracer.** The purpose of tracking may be an analysis of the flow itself, or the transport of something by the flow of the objects that convey the flow.

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/

References / المصادر

[1] George I. Adam, and others. "Gypsum Deposits in the United State".Department of the Interior, USGS. Bulletin 223. 1904.

[2] Al Ansari, N. Adamo, N.Issa,I. Sasikan,V. Knutsson, S. "Mystery of Mosul Dam the most Dangerous Dam in the World: Karstification and Sinkholes". Journal of earth Science and Geotechnical engineering, Vol.5,no3.2015.

[3] James, A N. Lupton, R R. "Gypsum and Anhydrite Foundations of Hydraulic Structures". Geotechnique, Vol.28, Issue September 1978.

[4] James, A N. Kirkpatrick, I M. "Design of Foundations of Dams Containing Soluble rocks and Soils". Quarterly journal of Engineering Geology.13.1980.

[5] James, A N. Edworthy, K I. "The Effects of Water Interactions on Engineering Structures". Hydrological Science Journal.Dec.2009.

[6] Adamo, N. Al Ansari, N. "Mosul Dam Full Story: Engineering Problems" Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering, vol.6, no. 3, 2016, 213-244 ISSN: 1792-9040 (print version), 1792-9660 (online) Scienpress Ltd, 2016.

[7] The International Board of Experts. "D.11 Points of recognition, Water flow in the Ski-Jump (Spillway Bucket) area". Report of the 20th Board meeting. October 1985.

[8] Swiss Consultants Consortium. "Seepage on the Left Bank". March 1986.

[9] Al Rawi, I A. "Hydrological conditions of seepage in the left Bank". MODACOM. March 1986. March 1986.

[10] The International Board of Experts. "D.3 Seepage on the Left Bank". Report of the 21st Board meeting. March 1986.

[11] Guzina, B J, Saric, M, Petrovic, N. "Seepage And Dissolution at The Foundation of a Dam During The First Impounding of the Reservoir". International Commission of Large Dam, Q.66.R.78. Vienna.1991.

[12] The International Board of Experts. "D.5 Seepage Water Measurement". Report of the 20th Board meeting. September 1987.

[13] Saddam (Mosul) Dam Management. "Seepage and Dissolved Salts Measurement". Technical Report on Saddam (Mosul) Dam for the Period 1994-1997. June 1998.

[14] Wealer M. "Report on Site Visit", September 3-7.2004.

[15] WII/BV JV. 2005, "Mosul Dam Study-Task Order No 8". Final Report: August 2005.

[16] Issa, E.I.; Al-Ansari, N.A. and Knutsson, S., 2013, Changes in Bed Morphology of Mosul Dam Reservoir, J. Advanced Science and Engineering Research, 3, 2, 86-95.

[17] Adamo, N. Al Ansari, N. "Mosul Dam Full Story: Safety Evaluations of Mosul Dam" Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering, vol.6, no. 3, 2016, - 212ISSN: 1792-9040 (print version), 1792-9660 (online) Scienpress Ltd, 2016.

[18] Sassakian V, Al-Ansari N, Issa I,Adamo N,Knutsson S. "Mystery of Mosul Dam the most Dangerous Dam in the World: General Geology". Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering, vol. 5, no.3, 2015, 15-31 ISSN: 1792-9040 (print), 1792-9660 (online) Scienpress Ltd, 2015.
[19] Swiss Consultant Consortium. "Mosul Dam Project Hydrological Study on Right Bank". June 1984.
[20] Saddam (Mosul) Dam Management. "Sliding Area". Technical Report on Mosul Dam. 1998.
[21] Saddam (Mosul) Dam Management. "Sliding Area". Technical Report on Mosul Dam. October 2000.
[22] Deere, D. U., and D. W. Deere. 1989. Rock quality designation (RQD) after twenty years Contract Report GL-89-1. Vicksburg, MS: U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station.
[23] Kelley R J, Wakeley L D, Broadfoot S W, M L Pearson M L McGrath C J. McGill T E, Jorgeson J D, and Talbot C A. "Geologic Setting of Mosul Dam and its Engineering Implications", Engineers Research and Development Center. September 2007.

الفصل الثامن

ستارة التحشية في سد الموصل ومشاكلها

1 ـ مقدمة

إن الهدف المتوخّى من تنفيذ أي ستارة تحشية (Grout Curtain) في أيّ سد ـ سواء كان سد خرساني ثقيل (Concrete Gravity Dam)، أو سد بنائي ثقيل (Masonry Gravity Dam)، أو ركامي (Fill Dam) ـ هو بدرجة أو أخرى: السيطرة على سريان ورشح المياه في أسس السد إلى مستويات أمينة تحقق استقرارية السد المطلوبة.

تعتمد المتطلبات التصميمية لستارة التحشية على الوظيفة المسندة إليها تصميميًّا، فإذا ما كانت هي العنصر الرئيسي والأساسي في منظومة السيطرة على الرشح فعندئذ يجب أن يكون عمقها وعرضها وقيمة معامل النفاذية فيها بحيث تحقق هذه السيطرة وتخفض الرشح إلى الحد الأدنى المسموح في ضوء حالة الأسس وكمّيّات الفاقدات من مياه الخزان، وفي هذه الحالة يتم حقن مواد التحشية في مسالك المياه الدقيقة والشعرية وملءِ الفجوات الصغيرة جدًّا.

أما إذا ما كانت هذه الستارة هي جزء مكمل في منظومة السيطرة على الرشح مع أعمال أخرى ـ مثل حفر آبار لتنفيس وصرف المياه الزائدة (Relief Wells) ـ، فعندئذ تكون مواصفات الستارة أقل صرامة، بحيث يتم غلق مسالك مياه الرشح الواسعة والفجوات الأكبر حجمًا، والاعتماد على الكفاءة الكلِّيّة لمجموع مكونات المنظومة للسيطرة على الرشح.

إن ستارة التحشية في سد الموصل هي من النوع الأول بسبب خصوصية حالة الأسس ووجود الطبقات الجبسية والأنهايدرايت ذات القابلية العالية للذوبان في الماء، وهذا الأمر حدى بالمصمّمين منذ البداية لوضع مواصفات قاسية لتنفيذ الستارة المذكورة بحيث تكون كمّيّات الرشح قليلة جدًّا ولا تسمح في حصول هذا الذوبان. وافترض هؤلاء المصممون إمكانية تحقيق هذا الأمر إذا ما تم تقليل نفاذية الستارة إلى الدرجة التي يتحقق فيها تشبع المياه الأرضية بالكبريتات، وبالتالي توقف عملية الذوبان.

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/

لم يتحقق هذا الأمر كما تصوره المصممون، ليس بسبب قلة الخبرة لدى المقاول المنفذ، وليس أيضًا بسبب الشحة بالموارد والمعدات أو المواد، وإنما بكل بساطة هو بسبب عدم تقبل بعض مكونات أجزاء من الأسس لمواد التحشية بكافة أنواعها المعروفة، وفي الوقت التي كانت تلك المكونات تسمح بنفوذ المياه من خلالها لم تكن تسمح بتخلل مواد التحشية فيها. وحتى في الحالات التي أمكن غلق هذه الأجزاء سرعان ما عادت وانجرفت مواد التحشية المذكورة مع دقائق من تلك المكونات بسبب الضغط المائي المتزايد مقدم الستارة، مما تطلب تكرار التحشية مجددًا في نفس المنطقة بكميات أكبر.

لقد أدى غلق مسالك الرشح في مكان ما في الكثير من الأحيان إلى تقدم الذوبان في الجزء المجاور أو القريب، وهذا يعني بكل بساطة تقدم جبهة الذوبان لتشمل مناطق لم تكن مشمولة سابقًا بهذ الأمر. وسوف يتم التعرض لهذه الأمور بالتفصيل في الفقرات التالية من هذا الفصل.

من المفيد أن نذكر بأن سد الموصل ليس هو الوحيد في العالم التي تتعرض أسسه لمثل هذه الحالة، ولكن ربما الحالة في سد الموصل هي الأكثر حدة بالنظر لتعقيد الأسس بصورة أكبر، وحجم الخزان الكبير، إضافة إلى أنه يهدد مناطق واسعة مأهولة بالملايين من السكان.

من الخبرة المتوفرة في الاتحاد السوفيتي السابق مثلًا، تعامل المهندسون مع بعض الحالات المشابهة في تصاميم وتنفيذ العديد من المنشآت الهيدروليكية في مناطق في شرق سيبيريا وفي طاجيكستان في وسط آسيا، ولا عجب في ذلك، حيث إن المساحات التي تعاني من وجود الصخور الجبسية أو الصخور الملحية فيها تبلغ حوالي خمسة ملايين كيلومتر مربع في عموم الاتحاد السوفيتي السابق، حسبما ورد ذلك في بحث نشرت ترجمته الإنكليزية من قبل معهد العلوم الطبيعية الروسي سنة (2006)[1].

ويذكر بأن هناك حالة مماثلة سبق الحديث عنها في بحث مقدم إلى اللجنه الوطنية السوفيتية في مؤتمرها المنعقد في يريفان سنة (1984) ونشرت ترجمته إلى الإنكليزية سنة (1986)[2].

وبحسب هذ البحث، فقد بين الكاتبان بأن من المسموح بناء السدود فوق أسس جبسية بشرط أن لا تتجاوز قيمة معامل النفاذية في مثل هذه الأسس ما مقداره (0,1) متر باليوم؛ أي: ما يساوي (4×10^{-4} سنتيمتر/ثانية).

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/

ركز البحث آنف الذكر على حالة سد كاما (Kama) على النهر الذي يحمل الاسم نفسه، وتضمن وصف أسس السد؛ ففي الخمسين مترًا العليا منها كانت تتكون من طبقات من الصخور الرملية (Sandstones)، والصخور الطينية (Argillites)[1]، والصخور الكلسية (Limestone)، والدولومايت (Dolomite)، وصخور المارل (Marls) أو الطفل. أما ما تحت ذلك العمق، فإن الأسس تتكون من صخور جبسية وصخور الأنهايدرايت وبسمك يبلغ حوالي (120) مترًا، لذا أضيفت إلى التصميم إجراءات احترازية تتمثل بالإضافة إلى ستارة التحشية العميقة فرش بساط طيني (Clay Blanket) بطول (100) متر يرتبط مع ستارة التحشية من جهة المقدم، إضافة إلى منظومة لتصريف مياه الرشح السطحي الموضعي من تحت قاعدة السد. وذكر أنه بعد ثلاثين سنة من التشغيل الناجح للسد، فقد تبين ضرورة التدخل لتقوية وصيانة ستارة التحشية التي بدت عليها بعض نقاط الضعف، ولا يمكن التخلص من مشكلة ذوبان الصخور الجبسية والأنهايدرايت بصورة مطلقة ودائمة، خاصةً عند وجود صخور مصاحبة هي نفسها متشققة ومتكهفة وتسمح بالجريان خلالها، وكما هو حال طبقات الصخور الكلسية (F-Bed) والصخور الكلسية الطباشيرية في أسس سد الموصل.

وفي حالة أخرى مماثلة لحالة سد الموصل، من حيث وجود ظاهرة الذوبان في الأسس لا بد من ذكر حالة سد (Wolf Creek Dam) والمنفذ هذه المرة فوق أسس من الطبقات الكلسية والسجيل (Shale). يقع السد المذكور على نهر كمبرلاند في ولاية كنتكي الأمريكية ويبلغ ارتفاع الجزء الركامي منه (200) قدم؛ أي: ما يوازي (61) مترًا وبطول (796) قدم؛ أي: (243) مترًا. وكان تنفيذ السد أيضًا قد بدأ في آب (1941) وأنجز في أيلول (1951) بعد توقف دام من آب (1943) لغاية آب (1946) بسبب اندلاع الحرب العالمية الثانية. فقد لوحظ في سنة (1962) ظهور بقع صغيرة من الرطوبة قرب القدمة الخلفية للسد غير أن هذه الظاهرة لم تلق الاهتمام الكافي في ذلك الوقت. ولوحظ لاحقًا في (7) تشرين الأول من سنة (1967)، ظهور رشح لمياه عكرة في قعر قناة التصريف (Tailrace Channel) للمحطة الكهرومائية على بعد (150) قدم مؤخر المحطة، وكان منسوب الماء منخفض نسبيًا. ثم تطورت الأمور لاحقًا عندما انكشفت على سطح الأرض في آذار (1968) خسفة صغيرة قرب القدمة الخلفية للسد تبعتها خسفة ثانية أكبر حجمًا وأكثر عمقًا في (22) نيسان من السَّنة نفسها ولا تبعد عنها كثيرًا، وفي الوقت نفسه

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press /سحب ثالث/ سد الموصل

تطور أيضًا تدفق من المياه العكرة في القناة الخلفية للمحطة، عندما كان منسوب الماء فيها هذه المرة عاليًا.

أدت هذه التطورات المتلاحقة إلى العودة إلى الملاحظات والمشاهدات التي سجلت عند التنفيذ، فتبين بأن حفريات الخندق القاطع تحت قاعدة السد (Cutoff Trench) كانت قد صادفت العديد من الكهوف والصدوع في الصخور الكلسية هناك، وتم الاكتفاء حينئذ بإنشاء ستارة التحشية والخندق القاطع دون الاهتمام بغلق الكهوف التي كانت آبار التحريات الجيولوجية قد كشفتها عند إجراء التحريات الأولية في مقدم الخندق وفي مؤخره؛ أي: لم يتم تنفيذ بساط تحشية مناسب لغلق تلك التكهفات والتشققات. وتم الاستنتاج من الدراسات، بأن مياه الرشح من الخزان كانت تسلك شبكة مترابطة من الشقوق والتكهفات تحت السد داخل الأسس، ولم يكن الخندق القاطع وستارة التحشية معًا كافيين لقطع الرشح المذكور؛ مما كان يشكل تهديدًا على سلامة السد. لذا فقد تقرر تخفيض منسوب الخزان بمقدار (40) قدمًا وإجراء عمليات لتقوية وترصين الستارة المذكورة استغرقت ثمانية أشهر وأنجزت في حزيران من سنة (1970).

وعلى الرغم من كل هذه الإجراءات، وبعد حفر المزيد من آبار التحري الجيولوجي، وعرض الموضوع على مجلس خبراء متخصص، فقد أوصى المجلس في آب (1972) بإنشاء ستارة موجبة (Positive) Cutof أو ما يسمى بـ: الجدار القاطع (Diaphragm) من الخرسانة، على أن ينفذ من قمة السد البالغ ارتفاعه (200) قدم عن منسوب قاع النهر، وأن ينزل إلى عمق (80) قدم في الأسس ويغلق كافة التشققات والتكهفات والصدوع في الصخور الكلسية في الأسس[3]. وقد بوشر بالعمل سنة (1975) وأنجز بالكامل سنة (1979). وكانت هذه هي المرة الأولى التي ينفذ فيها جدار قاطع من قمة سد دون الاضطرار إلى تفريغ الخزان بالكامل[4].

ويزخر التاريخ الحديث بالعديد من حالات الفشل والمشاكل التي نتجت بسبب أسس ضعيفة نسبيًا سواء لاحتوائها على صخور ضعيفة أو متحولة بسبب الذوبان أو بغيره، وفي الوقت نفسه، عدم نجاح المعالجات فيها بدرجة كافية. ولا يمكن التوسع هنا في هذا الموضوع، ويمكن للقارئ الكريم أن يجد الكثير من تلك الحالات منشورة على الشبكة العنكبوتية، غير أنه من المؤكد بأننا لن نجد حالة معقدة ومتقدمة تشبه حال سد الموصل الآن.

2 ـ الفرضيات والأسس التصميمية لستارة التحشية في سدِّ الموصل

لقد سبق لنا بحث موضوع التحشية بكافة أنواعها المنفذة في سد الموصل في الفصل السادس، ويمكن الرجوع إليها. أما هنا، فسوف يتم تلخيص ما يتعلق بستارة التحشية فقط والأسس التصميمية التي اعتمدت في تنفيذها وشرح الأسباب فيما اعتمده الاستشاري من فرضيات وأسس تصميمية.

إن الأساس التصميمي الأول كان بتقسيم ستارة التحشية إلى عدد من الأجزاء المختلفة عن بعضها تصميميًّا وذلك بالاعتماد على طبيعة الصخور الموجودة في الأسس وتتابعها على طول محور السد، فقد تم التعرف على كافة التفاصيل المطلوبة من خلال التحريات الجيولوجية التي توفرت للمصمم من كافة التحريات السابقة، بالإضافة إلى حفر آبار استشكافية إضافية وإجراء فحوصات (لوجون) لقياس النفاذية فيها على طول المحور، والتي تم تنفيذها من قبل المقاول الثانوي (Rokem JV) المتعاقد مع المقاول جيمود (GEMOD).

واستنادًا إلى تلك النتائج فإن أجزاء الستارة المعتمدة لأغراض التصاميم حددت بما يلي:

ـ امتداد ستارة التحشية في الجانب الأيسر	من مقطع 215 إلى مقطع 150	(1560 متر)
ـ ستارة السد الثانوي	من مقطع 16 إلى مقطع 47	(1152 متر)
ـ ستارة السد الرئيسي	من مقطع 48 إلى مقطع 114	(2379 متر)
ـ امتداد ستارة التحشية في الجانب الأيمن	من مقطع 123 إلى مقطع 139	(408 متر)

يذكر هنا، بأن الخط المحوري على طول السد كان قد قسم إلى مقاطع بطول (36) مترًا للمقطع الواحد عدا ما في الامتدادين الأيسر والأيمن، فكان المقطع الواحد بطول (12) مترًا، مع العلم أن تسلسل المقاطع يزداد من اليسار إلى اليمين (عدا ترقيم امتداد الستارة الأيسر الذي رقم بطريقة مختلفة).

والغرض من هذا التقسيم والترقيم هو لتدوين المعلومات المستحصلة عند إجراء التحشية في كلِّ مقطع وسهولة الرجوع إلى تلك المعلومات لاحقًا وإمكانية رسم وتمثيل تلك المعلومات بيانيًّا. ويذكر أيضًا، أن الآبار الاستكشافية تم حفرها بواقع بئر واحد في كل مقطع. أما الأساس التصميمي الثاني الذي اعتمد، فقد كان عمق الستارة المطلوب في كل من هذه الأجزاء، واستند في تقدير ذلك على مقدار الضاغط المائي على قاعدة السد في كل جزء، إضافة إلى الحالة الجيولوجية تحت

أجزاء السد المختلفة ونتائج فحوصات النفاذية التي أجريت في الثقوب الاستكشافية بطريقة (لوجون) ـ التي تم شرحها في هامش في الفصل الثاني. وتراوحت قيم النفاذية من العالية جدًا أو المتوسطة إلى النفاذية الواطئة التي تصل أحيانًا إلى الصفر في أعماق معينة. ويمكن الرجوع إلى الجدول (1) من الفصل السادس للاطلاع على تفاصيل القيم المذكورة.

لذا مكنت هذه النتائج المصمم من رسم خط افتراضي يقسم الأسس في المحور الطولي للسد أطلق عليه خط الكارست (Karstsline) (راجع الشكل 12 من الفصل الثاني). واعتمد عمق هذا الخط أساسًا تصميميًّا لتحديد عمق الستارة في أجزائها المختلفة؛ حيث كانت الطبقات الصخارية كافة فوق الخط قد تعرضت بصورة كبيرة إلى التجوية والذوبان؛ مما جعل من الضروري القيام بتحشيتها، أما ما كان منها تحت خط الكارست فكان بحالة جيدة ولم تؤثر التجوية فيها، وبالتالي لا تحتاج إلى أية معالجات.

وكان من المهم بالإضافة إلى تحديد عمق الستارة تحديد عرضها أيضًا؛ أي: عدد صفوف آبار التحشية لكل جزء منها، فكانت ثلاثة صفوف في الجزء تحت المسيل الرئيسي وامتدادًا تحت السد الرئيسي لغاية نهاية الكتف الأيمن من السد، وصفّ واحد تحت السد الثانوي في الجانب الأيسر، وقد أضيف إليه صف ثانٍ لاحقًا بعد ظهور الرشح في مؤخر هذا الجزء سنة (1986)، وكذلك صف واحد في امتداد ستارة التحشية في الجانب الأيسر والجانب الأيمن، فيما عدا جزءٍ من الأخيرة، حيث تضمن صفين. واعتمد أسلوب تنصيف المسافات بين الآبار (Split Spacing)[2] بمسافات (12) مترًا بين الآبار في النسق الأولي (Primary Pattern)، تليها بقية الأنساق لغاية النسق الثالث (Tertiary Pattern)، ثم يجري تدقيق النفاذية المتبقية في التحشية المنجزة للتأكد من تحقيق القيم المطلوبة من النفاذية، وبعكسه يجري الاستمرار بحفر آبار ذات نسق رباعي (Quaternary Pattern)، وخماسي (Quinary Pattern)، من أجل تحقيق تلك النفاذية.

ولقد نصت الأسس التصميمية التي اعتمدها الاستشاري أيضًا، بأن تتم التحشية في كل بئر على شكل مراحل (Stages)، يكون طول كل مرحلة ثلاث أمتار أو خمسة أمتار، لكنها تركت الحرية للمقاول المنفذ بأن يكون أسلوب التحشية تصاعديًّا (Ascending Stage Method) من أسفل البئر إلى أعلاه، أو تنازليًّا (Descending Stage Method)؛ أي: بتحشية المراحل ابتداءً من الأعلى ثم الحفر

من خلالها لتحشية المرحلة التي تليها في العمق. ويتم تحديد استعمال أي من الأسلوبين حسب مدى هشاشة الطبقات وإمكانية تحملها لضغوط التحشية دون أن تتهشم، وكذلك اعتمادًا على ما هو موجود من ثقل إضافي عليها بسبب أية أحمال إضافية (Overburden) من إملائيات السد إن وجدت.

لقد اعتمد الاستشاري المصمم أساسًا تصميميًّا آخر في تصميم الستارة، وهو كيفية تنفيذ الأجزاء المختلفة، فكان أن حدَّد بأن يكون التنفيذ من مستوى سطح الأرض لكافة الأجزاء، عدا ما تحت السد الرئيسي. كما يمكن في الحالة الأولى التنفيذ أيضًا من منسوب معين بعد الارتفاع بإملائيات السد من أجل توفير أحمال إضافية على الأسس تمنع تشققها في حالة الحاجة إلى استعمال ضغوط تحشية عالية. أما عند تنفيذ ستارة التحشية العميقة تحت السد الرئيسي، فقد تطلب الأمر إنشاء رواق تحشية خرساني (Concrete Grouting Gallery) في أسفل الخندق القاطع (Cutoff Trench) الواقع تحت اللب الطيني، وأن تجري أعمال التحشية من هذا الرواق.

والمعتقد بأن المصمم أراد من وراء ذلك اختصار المدة الكلية لتنفيذ السد، حيث إن رواق التحشية سوف يعطي إمكانية تنفيذ الستارة بصورة مستقلة عن تنفيذ الإملائيات للسد الرئيسي في مقطع النهر، وبالتالي إمكانية تداخل العمليتين معًا واختصار الوقت.

ومن حسن الحظ، فإن رواق التحشية المذكور قد أسدى فائدة كبيرة لاحقًا؛ حيث وفر إمكانية تنفيذ بيزومومترات من داخله إلى أعماق الأسس مكنت من تدقيق كميات الرشح من خلال الستارة المنفذة وتدقيق كفاءتها، وقد ساعد هذا الأمر كثيرًا في تنفيذ أعمال الصيانة لهذه الستارة وإن كان ذلك غير مقصودٍ في الأصل من قبل الاستشاري.

ويمكن الرجوع إلى تفاصيل الرواق المذكور في الفقرة (6) من الفصل السادس.

وهناك العديد من الأسس التصميمية التفصيلية الأخرى التي تضمنتها الشروط الخاصة للمقاولة التي أعدها الاستشاري؛ منها: استخدام مزيج التحشية المستقر (Stable Grout Mix) من محلول السمنت والبنتونايت، وترك الحرية للمقاول في تصميم نسب خلطات المزيج بعد إجراء التجارب الحقلية والمختبرية. واشترط أن يكون السمنت من النوع المقاوم للأملاح والفائق النعومة؛ لوجود الكبريتات في الأسس من ناحية، ولإمكانية نفوذ مزيج التحشية خلال الشقوق الشعرية المتوقعة

من الناحية الأخرى. ويقال الشيء نفسه من حيث ترك الاستشاري الحرية للمقاول لكي يستخدم ضغوط التحشية المناسبة لتحقيق النتيجة النهائية المطلوبة وغيرها من التفاصيل التنفيذية التي أتينا على ذكرها في الفصل السادس.

غير أن أهم الأسس التصميمية التي شدد الاستشاري على تحقيقها، كان كيفية التوصل إلى قبول أعمال التحشية المنجزة واعتماد طريقة (لوجون) بإجراء الفحوصات هذه في الآبار التدقيقية التي يجب تنفيذها لهذا الغرض والحصول على قيم معينة للنفاذية المتبقية بعد اكتمال العمل.

ويمكن تلخيص تلك القيم كما يلي:

ـ في تحشية الستارة تحت السد الرئيسي: أن يكون (95%) من قيم النفاذية المتبقية (Residual Permeability) في كافة المراحل في الثلاثين متر الأولى من العمق، بحيث لا تتجاوز (2) لوجون و(100%) من القيم أقل من (5) لوجون، أما فيما تبقى من العمق فيجب الحصول على (95%) من القيم أقل من (5) لوجون و(100%) من النتائج أقل من (10) لوجون.

ـ في الجزء تحت السد الثانوي في الجانب الأيسر: يجب تحقيق قيم للنفاذية المتبقية بعد إنجاز التحشية في (90%) من المراحل، بحيث تكون أقل من (10) لوجون على أن لا تتعدى نسبة (100%) من النتائج (50) لوجون، وأن لا يكون هناك مرحلتين متتاليتين بنفاذية تزيد عن (30) لوجون.

ـ أما في امتدادي ستارة التحشية في الجانب الأيسر والجانب الأيمن: فلم يشترط الاستشاري القيام بفحوصات لوجون من أجل القبول بالعمل المنجز، وإنما اكتفى بأن يكون استهلاك المزيج في كافة المراحل مقبولًا، واعتماد الخبرة المتراكمة لتحديد تلك الكميات واستنادًا إلى طبيعة الطبقات الصخارية التي تخترقها آبار التحشية هناك.

ومن أجل إعطاء فكرة واضحة عن قيمة وحدة (اللوجون) كمعامل للنفاذية؛ فإن (اللوجون) الواحد يساوي ($1.3x10^{-5}$) سنتيمتر بالثانية.

3 ـ تطور العمل والمشاكل في ستارة التحشية في الفترة (1981 ـ 1988)

بوشر بالأعمال التمهيدية للعمل بعد توقيع العقد مباشرة في (26) شباط (1981) وقد استغرقت تلك الأعمال حوالي أربعة أشهر، وتضمنت قيام المقاول الرئيسي (جيمود) بتنفيذ بناء المخيمات السكنية ونصب المعامل واستقدام المعدات والمواد

المطلوبة من أجل المباشرة بالأعمال الفعلية. وكان حال المقاول الثانوي لتنفيذ أعمال التحشية (روديو ـ كيلر) حال المقاول الرئيسي في ذلك.

ولم يكن مجلس الخبراء العالمي الذي تعاقدت مع أعضائه وزارة الري من أجل متابعة أعمال التصاميم مع الاستشاري بعيدًا عن المشهد، فكان أن عقد أيضًا سلسلة من الاجتماعات خلال فترة تنفيذ العمل هي في الواقع تكملة للاجتماعات الدورية التي سبق له أن عقدها مع الاستشاري المصمم بواقع مرة كل ثلاثة أشهر في فترة إعداد التقرير التخطيطي والتصاميم لأغراض التعاقد. وكان الهدف من سلسلة الاجتماعات الجديدة هو مناقشة تفاصيل تنفيذ كافة أعمال السد حسب تقدم العمل والتعرف على المشاكل والصعوبات التي تظهر خلالها واقتراح التوصيات لحلها. تضمنت الاجتماعات لقاءات مع الاستشاريين والمقاولين وأحيانًا استدعاء خبراء متخصصين لدراسة وبحث بعض الأمور ذات الطابع التخصصي الدقيق. وقد قدم المجلس تقارير مفصلة عن تلك الاجتماعات والأمور التي تمت مناقشتها. لذا يمكننا اعتبار هذه التقارير توثيقًا جيدًا لتطور الأحداث في الأعمال التنفيذية وما رافقها من مصاعب ومشاكل وحلول. كما يمكن القول بأن هذه التقارير تمثل التسلسل الزمني الدقيق لتطور تلك الأمور.

بلغ عدد اجتماعات المجلس ثلاثون اجتماعًا، عدا الاجتماعات الاستثنائية التي تطلب عقدها بصورة سريعة لمعالجة أمورًا طارئة مما وفر لنا عددًا كبيرًا من التقارير تجاوزت صفحاتها الألف وخمسمائة صفحة بحثت في كافة فعاليات التنفيذ ومشاكله.

وقد قمنا بإعداد ملحق خاص هو الملحق (1) في ذيل هذا الكتاب يتضمن خلاصة مركزة بالأمور التي تخص تنفيذ ستارة التحشية العميقة حصرًا بما في ذلك مراحل التنفيذ وما رافقها من مشاكل وصعوبات وذلك من أجل فهم هذا الموضوع المهم الذي ترتبط به سلامة السد والذي يدور حوله الآن الكثير من الحديث واللغط من قبل الكثيرين الذين لم تتوفر لمعظمهم المعلومات الكافية التي تسند آرائهم. لذا، فسنقتصر الحديث هنا على ذكر المحطات الرئيسية في تنفيذ ستارة التحشية ونترك للقارئ الفرصة ليعود إلى الملحق (1) أيضًا للحصول على مزيد من التفاصيل.

كان من الواضح من مجريات تقدم العمل في تنفيذ الستارة بأن طبيعة جيولوجية الأسس كانت شديدة التعقيد والتغير في كِلَا الاتجاهين الأفقي والعمودي على طول

محور السد، كما كان من الواضح أيضًا عدم إلمام الاستشاري عند البداية بهذه الصورة الجيولوجية إلمامًا كاملًا على الرغم من التحريات المكثفة التي أجريت قبل المباشرة بالعمل. لذا، فقد ترك مجالًا واسعًا في شروط ومواصفات العمل للقيام بتجارب حقلية عند التنفيذ من أجل التوصل إلى الحلول المناسبة.

بعد المباشرة بالعمل مباشرة، قام المقاول بإجراء تجارب للتحشية في حقول منتخبة للتحشية في الجانب الأيمن من أجل التأكد من مدى تحمل الطبقات في تكوين الفتحة (الفارس الأسفل ـ سابقًا) لضغوط التحشية وكذلك استجابة تلك الطبقات لمزيج التحشية السمنتي، ولم تكن نتائج تلك التجارب حاسمة أو نهائية؛ مما اقتضى تنفيذ العديد من التجارب الأخرى عند تنفيذ الستارة نفسها في الأجزاء العميقة تحت السد الرئيسي وفي ستارة الجانب الأيسر.

واستمر العمل على هذا الحال باستخدام طريقة تجربة الخطأ والصواب (Trial and error) لفترة طويلة امتدت حتى آخر أيام التنفيذ. ولم ير المجلس في ذلك أمرًا غريبًا؛ لإدراكه بمدى التعقيد في الحالة الجيولوجية في الأسس، حتى إنه برر ذلك، فيقول في أحد تقاريره: «**إن تحشية الأسس في السدود لا يمكن التوصل إليها بصورة سهلة وبسيطة وهي ليست كالوصفة الطبية تكتب مرة واحدة**». ولكننا نرى بأنه في الوقت الذي ينطبق هذا الأمر على سد الموصل تمامًا، لكنه ليس بالضرورة السائد في كل سدود العالم.

ويمكن اعتبار أسس سد الموصل من أعقد الأسس ـ في سدود العالم ـ وأكثرها شذوذًا، بسبب وجود صخور الجبسم المتشظية (Brecciated gypsum) ذات القابلية العالية للذوبان، إضافة إلى تعاقبها مع الطفل المتشقق والصخور الكلسية الشديدة التصدع والتكهف، إضافة إلى تاريخ التجوية الطويل في هذه الطبقات.

وكشفت أعمال التحشية في الأجزاء العميقة تحت السد الرئيسي وجود التكهفات الكبيرة والمتطورة على أعماق تجاوزت (90) مترًا في طبقات الجبسم والأنهايدرايت المكونة للبريشيا الواقعة بين طبقات الصخور الكلسية الطباشيرية وصخور تكوين الجريبي التي امتازت هي الأخرى بنفاذيتها العالية في قسمها العلوي. ولم يكن لدى العاملين والمشرفين على العمل حتى حزيران (1982) معايير تصميمية للستارة يمكن الركون إليها لمعرفة مدى كفاءة الستارة، عدا نتائج استهلاكات المزيج في آبار التحشية. وكان الاستشاري ينتظر الحصول على عدد كافٍ من نتائج آبار الاختبار وفحوصات النفاذية فيها لغرض الخروج بمعايير

تصميمية مناسبة، مما حدى بالمجلس أن يطلب من الاستشاري القيام بتحليل شبكة جريان المياه (Flow net Analysis) تحت السد لمعرفة كميات الرشح في الأسس والتخفيض المطلوب من الستارة لمنع حدوث الذوبان في طبقات الجبسية المختلفة.

قدم الاستشاري الدراسة المذكورة في تشرين الثاني (1982) التي بينت بأن الرشح المتوقع عند إنشاء الستارة سوف يكون بحدود (0,4) لتر/يوم، لكل متر طول من الستارة، وعندئذ فإن ذوبان الصخور الجبسية الناتج عن ذلك سيؤدي إلى هبوط السد بمقدار (33) سنتيمتر خلال عمر السد التشغيلي البالغ (100) سنة. ويتحقق هذا الذوبان عندما تكون نفاذية أول (30) متر من الستارة بحدود (2) لوجون وما تبقى من عمق الستارة ذو نفاذية قيمتها (5) لوجون.

وأضافت الدراسة، بأن جسم السد بأبعاده العريضة وميوله الجانبية القليلة سوف يقلل من مخاطر الهبوط التفاضلي إن حصل، كما أن طبقات المرشحات العريضة في مقطع السد سوف تساعد على اندمال أية تشققات قد تحصل بسبب الهبوط التفاضلي المذكور.

غير أن المجلس حذر من أن أي ضعف في الستارة في أي موقع معين سوف يؤدي إلى حصول تركيز وتدفق في مياه الرشح (Piping)، وبالتالي مخاطر من حصول تآكل داخلي (Erosion Internal) في الأسس قد لا يمكن السيطرة عليه.

وقد برزت بالفعل صعوبات كبيرة لاحقًا في تحقيق هذه المعايير المطلوبة في العديد من مقاطع ستارة التحشية بسبب طبيعة الصخور الجبسية والكلسية الطباشيرية.

إن ما حصل فعلًا يختلف تمامًا عن الصورة النظرية المثالية التي افترضها الاستشاري؛ حيث كانت هناك نسبة عالية من الطبقات الصخارية إما متكهفة ومتشققة ـ كما في طبقات البريشيا ـ، أو متآكلة ومتصدعة وحاوية على مسالك الجريان المفتوحة والكهوف الكبيرة ـ كما في طبقات الصخور الكلسية ـ. وكانت أنواع المزيج المختلفة غير قادرة على اختراق الصخور الجبسية المتشظية نظرًا لطبيعة تركيبتها، وحتى عندما نجحت تلك المحاولات فقد كان النجاح مؤقتًا، وسرعان ما انجرفت مواد التحشية بفعل ضغط المياه عليها وتآكلت مادة البريشيا نفسها ليزداد حجم التكهفات بصورة أكبر من السابق. كما كانت تحشية التكهفات في الصخور الكلسية أمرًا غاية في الصعوبة لشدة جريان المياه فيها.

وهكذا لم تنجح التحشية في العديد من المقاطع في الستارة بصورة كاملة، وكانت تعاد التحشية فيها بعد ذلك. وقد قاد هذا الأمر إلى تكرار تحشية التكهفات ومعالجة الذوبان في تلك الصخور خلال السنوات اللاحقة وحتى اليوم.

قادت المحاولات المختلفة لتحقيق الأسس التصميمية المطلوبة سواء في تحشية الستارة العميقة تحت السد الرئيسي أو تحت السد الثانوي في الجانب الأيسر إلى تجربة أساليب التحشية المختلفة بالمزج بين الأسلوب التنازلي (Descending Stage Method)[3]، والأسلوب التصاعدي (Ascending Stage Method)[4] للحصول على ضغوط التحشية العالية، إضافة إلى تطبيق تنصيف المسافات بين الآبار (Split Spacing) حتى وصل الأمر إلى تطبيق النسق الخماسي بفاصلة بين الآبار بمسافة لا تتجاوز (0,75) متر في العديد من الحالات، إضافة إلى الحقن بأساليب مختلفة، إما بواسطة الأنبوب ذو السدادة الواحدة (Rubber Packer)[5]، أو الأنبوب ذو السدادات المتعددة (MPSP)[6]، أو استخدام أنبوب المانشيت (Tube-a-Manchette)[7]. أما أنواع المزيج المستخدم، فقد ضمت ـ إضافة إلى الخبطات المختلفة من المزيج السمنتي والبنتونايت ـ استخدام المضافات لزيادة سرعة التصلب أو إضافة الرمل والحصى للحصول على المزيج الثقيل، كما استخدمت التحشية الكيميائية باستعمال هلام السليكا (Silica Gel)[8]، والرغوة (Foam)[9]، وتجربة مادة السنترين (Syntrane) للحصول على مزيج خفيف وسريع التصلب قادر على النفوذ في الشقوق والفجوات الدقيقة.

إن هذه التعقيدات وعدم توفر الوقت المتاح لدى أعضاء المجلس لتدقيق التفاصيل الدقيقة لكل هذه الأعمال، أدت إلى طلب موافقة رب العمل (ووافق الأخير) على الاستعانة بخبير متخصص في التحشية هو الخبير الدكتور لوكا، ولاحقًا أيضًا الخبير ماريوتي ـ وكلاهما من شركة جيوكونسل الفرنسية المتخصصة بأعمال التحشية والأسس ـ وذلك من أجل القيام بزيارات روتينية للموقع وتقديم الخبرة المطلوبة. وقام المقاول الرئيسي من ناحيته، باستقدام الخبير الدكتور كارون خبير التحشية الكيميائية للقيام بزيارات روتينية للغرض نفسه أيضًا.

أدرك المجلس ـ بالإضافة إلى الصعوبات الكبيرة التي تعترض سير العمل ـ التأخير الكبير في هذه الأعمال بصورة عامة، خاصة بعد تحويل مجرى النهر خلال نفقي التحويل في تشرين أول (1984)، وأدى قلقه المتزايد من هذا التأخير إلى محاولة الضغط على المقاول لزيادة وتيرة فعالياته وتكثيف جهوده في تنفيذ ستارة

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/

التحشية، لذا قام في (20) تشرين أول (1984) بتقديم تقرير إلى وزير الري طلب فيه الموافقة على تقديم موعد البدء بالخزن الأولي من تشرين الثاني (1984) إلى أيار (1985) كإجراء للضغط على المقاول لتسريع عمليات التحشية ومحاولة إنجازها في وقت مبكر ولفسح المجال خلال صيف (1985) للتدقيق في أية مشاكل قد تظهر فيها، حيث ستكون عندئذ وتيرة الصعود بالمنسوب بطيئة، وبالتالي إعطاء الوقت الكافي لأية معالجات قد تظهر الحاجة لها.

ونتيجة لذلك، عقد المجلس اجتماعًا في كانون الأول (1984) وتدارس المجتمعون تقدم العمل في كافة الفعاليات على المسار الحرج بالنسبة لعملية إملاء الخزان ووجدوا أن تلك الفعاليات كافة كانت تسير بصورة جيدة إلا فعاليات التحشية التي كانت لا تزال متعثرة ولم تنجح في غلق ما سمي بالنوافذ (Windows) في العديد من مقاطع التحشية العميقة في مقطع النهر، مع وجود تلكؤ في تحشية امتداد ستارة التحشية في الجانب الأيمن. وتمخض الاجتماع عن إبقاء موعد المباشرة بالإملاء الأولي في تشرين الثاني (1985) ـ كما كان مقررًا سابقًا ـ وضرورة وضع برنامج جديد ومكثف لإنجاز متطلبات هذا الإملاء فيما يخص التحشية.

تمت المباشرة برفع منسوب الخزان في تشرين الثاني (1985) على الرغم من عدم تحقق المعايير التصميمية في العديد من المقاطع، كما كان مقررًا أصلًا بغلق أحد نفقي الري بعد إنجاز مدخله الأعلى وتجهيزه بالبوابة اللازمة ريثما يتم غلق الفتحة السفلى للنفق الثاني وغلق مدخله السفلي، على أن يتم ذلك في الوقت الذي يتصاعد فية تنفيذ السد الركامي في مقطع النهر إلى المناسيب الأمينة للسماح باستقبال فيضان ربيع سنة (1986). . وكان هناك احتمال تجاوز منسوب الخزان لمنسوب (280) مترًا خلال فترة قصيرة بعد المباشرة بالخزن، بينما لم تكن المعايير التصميمية قد تحققت في عدد من المقاطع في مجرى النهر، لذا تطلب الأمر إجراء مراقبة مشددة على كفاءة الستارة في كافة المقاطع بواسطة البيزومترات التي سبق نصبها مقدم ومؤخر ستارة التحشية لمراقبة سلوكها والتدخل في حالة تدهورها بإجراء تحشية إضافية.

ولا بد أن نذكر هنا، بأن مجلس الخبراء كان قد وجه بنصب هذه البيزومترات منذ مراحل مبكرة في العمل وذلك لضرورة إيجاد طريقة مناسبة تضاف إلى مؤشر استهلاكات المزيج عند التنفيذ لمراقبة الستارة ومدى كفاءتها وديمومتها في ضوء الحالة الديناميكية في الأسس من جريان وذوبان، وكان اقتراحه هذا يتضمن تنفيذ أزواج من البيزومترات في مقدم الستارة وفي مؤخرها لمراقبة ستارة التحشية العميقة

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press /سحب ثالث/ سد الموصل/

في مجرى النهر على أن تنفذ من رواق التحشية، وتكون المسافة بين كل زوج والذي يليه بحدود (30) مترًا. وتم ذلك تدريجيًّا خلال مدة العمل، وجرى تغطية رواق التحشية بالكامل بهذه البيزومترات. وعليه، أعطت هذه البيزومترات معلومات قيِّمة خلال فترة التنفيذ، ولا تزال تستخدم لهذا اليوم لتشخيص مناطق الضعف في الستارة وبالتالي تحديد المناطق والبؤر التي تتدهور الحالة فيها مما يستوجب التدخل لصيانتها.

إن مبدأ العمل الذي تستند عليه هذه البيزومترات، هو أن بيزومترات مقدم الستارة تقرأ الضاغط المائي في المقدم، سواء كان من المياه الجوفية قبل الخزن أو من مستوى منسوب الخزان بعد الخزن. أما بيزومترات مؤخر الستارة، فتقرأ ضغط المياه الجوفية أو منسوب المياه في مؤخر الستارة، ويعطي الفرق بين القرائتين المذكورتين تأثير الستارة، فكلما زاد الفرق بين القرائتين كلما كانت كفاءة الستارة عالية وتأثيرها أكبر والعكس صحيح أيضًا. وللتوضيح، نذكر بأن المعادلة التالية سبق أن استخدمت في إحدى الدراسات التي جرت بواسطة دراسة التشابه الكهربائي (Electric Analogy) على أحد السدود في الهند[5]:

$$E\% = \frac{H - h}{H} \times 100$$

حيث إن (E) هي كفاءة الستارة، و(H) منسوب سطح الماء في المقدم، و(h) هو منسوب الماء في المؤخر، ويتم قياس هذين المتغيرين من خط الأساس نفسه. لذا فإن (H-h) وهو فارق الضاغط المائي الذي تحققه الستارة، وإذا ما قسم على (H) فإنه يعطي مؤشر لكفاءتها. أما إذا اقتربت قيمة (h) من قيمة (H)، فيدل ذلك على حصول رشح من خلال الستارة وانخفاض كفاءتها وبالتالي يتطلب الأمر التدخل لإجراء تحشية إضافية. وقد تم استخدام هذه المعادلة في استخراج كفاءة الستارة في سد الموصل خلال التنفيذ، كما استخدمت لاحقًا أيضًا عند الصيانة بعد أن تمت صياغتها بالشكل التالي:

$$E\% = \frac{USp - DSp}{RL - TL} \times 100$$

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press /سحب ثالث/ سد الموصل/

وفي المعادلة السابقة، فإن (USp) هو قراءة البيزومتر الأمامي مقدم الستارة، و(DSp) هي قراءة البيوزمتر الخلفي مؤخر الستارة، و(RL) هو منسوب الخزان، و(TL) هو منسوب المياه مؤخر السد.

وقد رأى المجلس أن تحقيق كفاءة لا تقل عن (70%) يمكن قبوله، ويتوجب التدخل السريع إذا ما انخفضت الكفاءة عن (50%). غير أننا نرى أن تحقيق كفاءة لا تقل عن (90%) في حالة مثل سد الموصل هو الأصح، وأن الأمر لا يرتبط بتقليل ضائعات الرشح وتخفيف ضغط الأصعاد فحسب، كما هو الحال في السدود الأخرى التي تعتبر فيها نسبة (70%) جيدة وإنما يرتبط بذوبان الصخور الجبسية واستقرار الأسس نفسها.

استخدمت قياسات رصد البيزومترات بصورة مكثفة، خاصة بعد المباشرة بالخزن الأولي وأصبحت الأداة الوحيدة تقريبًا لرصد نقاط الضعف في ستارة التحشية، وكانت أغلب هذه النقاط في مقطع النهر في طبقات الصخور الجبسية المتشظية في العمق التي تخللت الصخور الكلسية الطباشيرية، وكذلك في الجزء العلوي من تكوين الجريبي أسفلها في المقاطع من (75) وحتى (92) وبصورة كبيرة جدًّا في المقاطع (75، 79، 80، 81، 83، 84)، إضافة إلى العديد من المقاطع الأخرى المتفرقة.

بدأت بوادر الرشح بالظهور ـ وكما كان متوقعًا ـ في الجانب الأيسر في بداية (1986) عندما ارتفع الضاغط المائي بحدود (45) مترًا، كما كان هناك رشح كبير جدًّا في مقطع النهر من أساسات السد الرئيسي. وكان العاملون قد لاقوا صعوبات كبيرة في تحشية طبقة المدملكات تحت جزء من المسيل الثانوي وطبقة الصخور الكلسية (F-Bed) تحت السد الثانوي، إضافة إلى ظهور مناطق النوافذ أو الشبابيك في مقاطع التحشية في مقطع النهر.

وقد سبق أن تم شرح هذا الموضوع بإسهاب في الفصل السابع، حيث تم بيان تفاصيل رصد كميات الرشح ونتائج تحاليل نماذج المياه وايجاد نسب الأملاح فيها، وبالتالي بيان حجم الذوبان المتطور في الجانب الأيسر وفي مقطع النهر. وقد لوحظ في الجانب الأيسر، أن مصدر الرشح الرئيسي كان من نهاية الستارة الرئيسية في الجانب الأيسر ومن تحت منشأ المسيل الاضطراري، إضافة إلى عدد آخر من العيون بموازاة محور السد.

وتمخضت إجراءات المجلس، عن التوصية بضرورة حفر المزيد من البيزومترات من سطح الأرض في مؤخر السد في هذا الجانب من أجل المراقبة المستمرة لحركة

المياه الجوفية، وإجراء دراسات هيدروجيولوجية معمقة واستخدام الكواشف اللونية (Color Tracers)[10] للتحقق من اتجاهات جريان مياه الرشح، ناهيك عن التوصية بإضافة صفٍّ ثانٍ من صفوف التحشية إلى ستارة التحشية على طول السد الثانوي وتعميقها واختراق كافة طبقات (F-Bed) والنفوذ إلى طبقة (GB3).

أما جريان مياه الرشح المكتشف والمارمن تحت أسس قناة تصريف المسيل ومنشأ المذب والمتجه من الجانب الأيسر للمسيل نحو الجانب الأيمن، فقد كان هو الآخر سببًا للقلق الشديد للمجلس لأنه يهدد بذوبان الطبقة الجبسية (GB3) في أساسات هذين المنشأين مما قد يسبب هبوطًا فيهما، لذا جاءت توصية المجلس بانشاء ستارة تحشية عميقة بطول (600) متر بمحاذاة الجانب الأيسر من قناة تصريف المسيل ومنشأ المذب. وأبدى المجلس قلقه الشديد أيضًا من كمية الرشح والذوبان في أسس السد في مقطع النهر، وأوصى بتكثيف المعالجات في المقاطع الضعيفة وكذلك زيادة عدد بيزومترات الرصد في رواق التحشية وتقليل المسافات بينها، إضافة إلى تعميق الستارة بمسافة إضافية من (20) إلى (30) مترًا.

أما خلال الفترة اللاحقة من سنة (1986) وبدايات سنة (1987)، فقد كانت هناك تطورات سريعة بسبب ارتفاع مياه الخزان، لذا فقد جرت محاولات جديدة لتجربة المزيد من خلطات مزيج التحشية من أجل مواكبة الاستهلاكات الكبيرة عند إجراء التحشية في مقاطع الستارة في مقطع النهر ولكن من دون جدوى وعدم التمكن من غلق النوافذ فيها بصورة دائمية.

كان كل ذلك مدعاة لقيام المقاول الرئيسي (جيمود) بالاتصال مع شركة بني ومشاركوه البريطانية في أيلول (1986)، وتم عقد اجتماع بين خبراء الطرفين في لندن لدراسة مشكلة ذوبان الصخور الجبسية ووضع الحلول المناسبة لتحشية النوافذ في الستارة في المقاطع من مقطع (75) لغاية مقطع (92)، وكان قلق المقاول الرئيسي يرجع إلى إنجازه أعمال المقاولة في السادس من شباط (1986) والاستمرار بأعمال صيانة المشروع وبضمنها صيانة الستارة دون ظهور أي علامة في الأفق تنبئ بقرب التوصل إلى حل لمشاكل هذه الستارة على الرغم من أن مدة الصيانة سوف تنتهي في السادس من شباط (1988).

وتبع اجتماع لندن عدة زيارات للموقع قام بها عدد من خبراء الشركة البريطانية من مهندسين وجيولوجيين وبقوا فيه فترات تراوحت بين مدة شهر والشهرين للاطلاع وجمع المعلومات الأولية، تم بعدها إعداد دراسة نظرية لدراسة المشكلة

ووضع الحلول لها. وتمخض الأمر عن تقديم دراسة في أيلول (1987) بعنوان (الستارة القاطعة في الأسس ـ ملاحظات ومشاهدات للمناقشة)[6].

وتعتبر هذه الدراسة من أهم الدراسات التي قدمت في أي وقت لفهم مشاكل التحشية وعلاقتها بذوبان الصخور الجبسية في السدود، وقد شارك بإعدادها خبراء عالميون من مهندسي شركة بِني أمثال الخبير (Hew Fanshow)، والخبير العالمي (A.N James) المتخصص بموضوع الصخور الجبسية في أسس المنشآت الهيدروليكية.

أما بالنسبة لسد الموصل، فقد حسمت الدراسة أيضًا العديد من الأمور المهمة، وسوف نأتي على ذكر المزيد من التفاصيل عن هذه الدراسة المهمة لاحقًا.

في الوقت نفسه تقريبًا، وتحديدًا في آب (1986)، طلب الاستشاري من المقاول تنفيذ برنامج مكثف للتحشية التجريبية سمي ببرنامج تجربة إمكانيات التحشية (Groutability Test Program)، وقد قدم المقاول الثانوي تقريرًا مفصّلًا في تشرين الثاني (1987) عن هذا البرنامج ونتائجه بعنوان (سد الموصل ـ ستارة التحشية للسد الرئيسي)[7].

ويمكن تلخيص البرنامج المذكور الذي امتد لغاية تشرين الثاني (1987) بما يلي:

* أولًا: **تنفيذ عدد محدود من آبار التحشية؛** في محاولة جديدة لتحشية مناطق (النوافذ) باستخدام المزيج السمنتي بعد تركيب سدادات خاصة على فوهات الآبار لمنع تدفق المياه الارتوازية الراجعة إلى داخل الرواق، وفي الوقت نفسه ضخ الهواء المضغوط داخل البئر لموازنة الضغط الارتوازي الناتج من ارتفاع منسوب الخزان، وبذلك تتم التحشية ضمن منظومة مغلقة (Closed System).

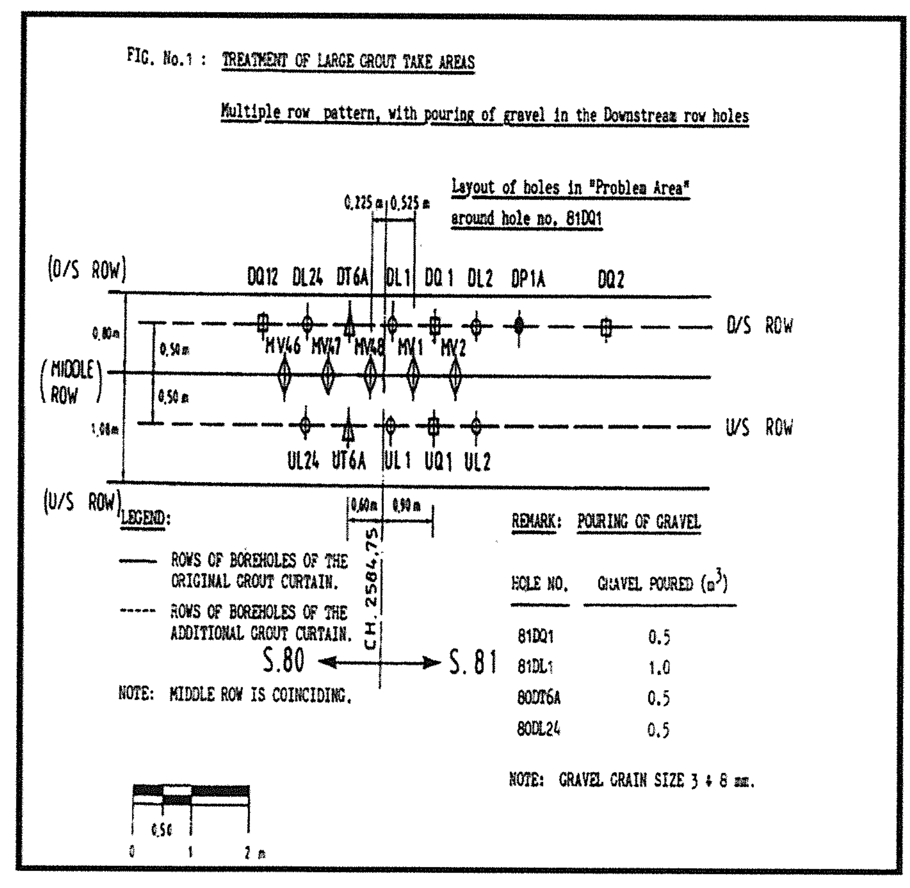
* ثانيًا: **ثم توسيع العمل أعلاه؛** بإجراء تحشية إضافية لكافة المقاطع من مقطع (75) لغاية مقطع (92)، وتكون المسافات الفاصلة بين الآبار (0,75) مترًا في الصف الوسطي والصف الخلفي، وتعميق الستارة بمقدار (20) متر عن عمقها الأصلي في هذين الصفين.

* ثالثًا: **اشتملت المعالجات الإضافية في مناطق الاستهلاك العالي استخدام أساليب مختلفة كما يلي:**

• **الأسلوب الأول:** عند اكتشاف أحد (النوافذ)، يتم حفر ثلاث صفوف جديدة في منطقة البئر ذو الاستهلاك العالي بمسافات فاصلة قدرها (0,75) مترًا، كما في الشكل رقم (1) الذي يمثل الحالة التي جرت في البئرين (81DQ1) و(83DQ4). وعند عدم تحقيق أي نتيجة من حقن المزيج السمنتي والمزيج السمنتي الرملي في

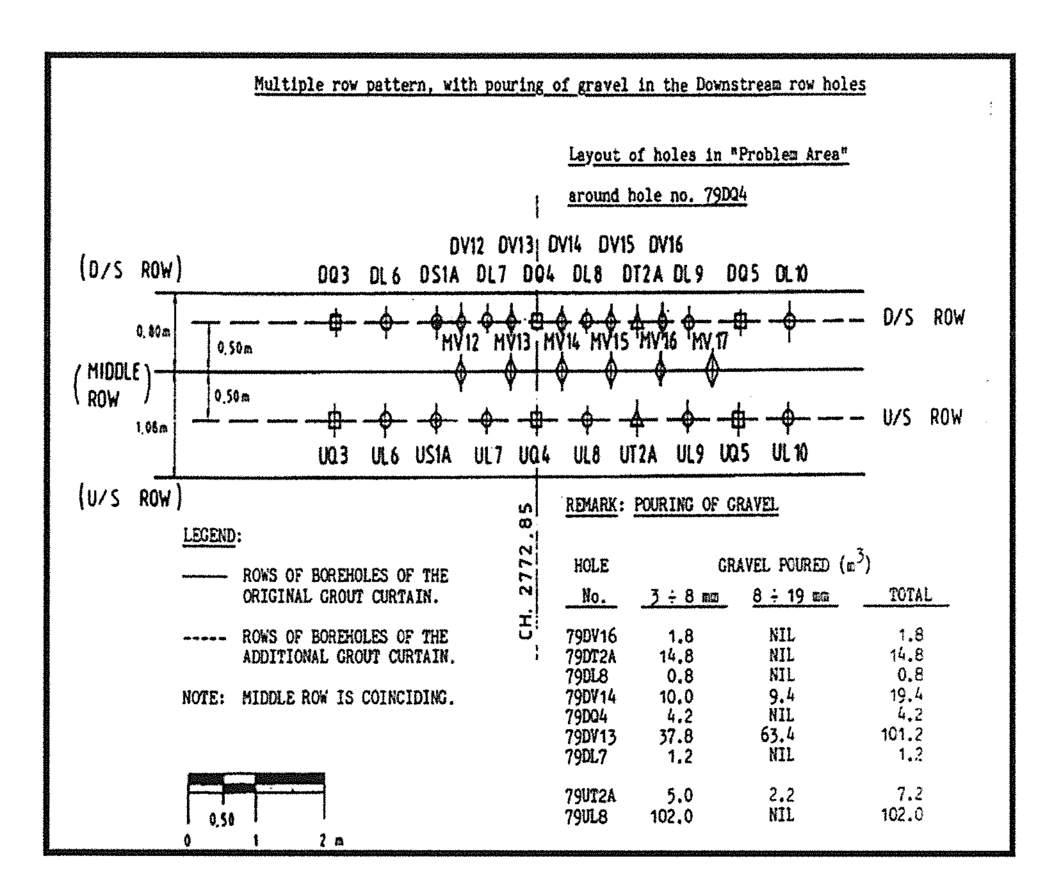
الصفين الأمامي والوسطي، يجري إضافة الحصى المتدرج (3 ـ 8) مليمتر في الصف الخلفي لإنشاء كتلة حصوية داخل التكهف، ثم حقن هذه الكتلة بالمزيج السمنتي الرملي لجعل الكتلة متماسكة، ومن ثم بعدها غلق الصفين الوسطي والخلفي بدورات متكررة من إعادة الحفر والحقن بالمزيج السمنتي والمزيج السمنتي الرملي، وقد نجح هذا الأسلوب في البئرين المشار إليهما أعلاه.

• **الأسلوب الثاني**: لم ينجح الأسلوب الأول في العديد من الآبار الأخرى ذات الاستهلاك الكبير، حتى عندما نصفت المسافات بين الآبار إلى (0.375) متر، كما حصل في البئر (75DQ4) المبين في الشكل رقم (2)، عندئذ فقد تم تحوير الطريقة هذه، حيث أدرك المشرفون على العمل بأن عدم تحقيق أية نتيجة عند استخدام المزيج السمنتي والسمنتي الرملي والحصى إنما سببه قوة جريان المياه في الفجوات الداخلية مما يؤدي إلى جرف مواد التحشية بسرعة قبل تحقيق أي نتيجة تذكر.



شكل 1: أسلوب تحشية الثقبين (81DQ1) و(83DQ4)

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press /سحب ثالث/ سد الموصل/



شكل 2: أسلوب تحشية الثقب (75DQ4)

لذا فقد دفع هذا الأمر إلى التفكير بإيجاد طريقة جديدة لإيصال مزيج التحشية إلى البئر المراد تحشيته ـ بسرعة كبيرة ـ للتغلب على سرعة جرف الماء وسميت هذه الطريقة بطريقة **التحشية التوسيعية (Enlarged Grouting)**.

تضمنت هذه الطريقة توصيل الرمل والحصى إلى داخل الرواق بسرعة فائقة من خلال بئر شاقولي مبطن بواسطة أنبوب خدمة حديدي يمتد من قمة السد إلى الرواق خلال اللب الأصم، ثم خلط الرمل مع مزيج التحشية السمنتي واستخدام الحصى هناك قبل وبعد الحقن وذلك للتغلب على سرعة انجراف المواد.

وقد حققت هذه الطريقة معدلًا لتجهيز الركام بلغ (20) مترًا مكعبًا في وجبة العمل الواحدة، بينما كانت هذه المواد تنقل سابقًا من خارج الرواق بواسطة عربتين تدفعان يدويًا على سكة حديدية لتوصيلها إلى موقع الخلط والحقن وبمعدل تجهيز لا يتجاوز (8) أمتار مكعب في وجبة العمل الواحدة. استغرق حفر وتبطين أنبوب الخدمة المذكور للفترة من (30) آب (1987) لغاية التاسع من أيلول (1987) وكان

طوله (109,5) متر، وامتد من قمة السد إلى رواق التحشية في المقطع (77) المقابل للمحطة (740 + 2) مقاسة على قمة السد، أما الانحراف عن الشاقول فكان لا يزيد عن (0°13′)، أما قطرا الأنبوب الداخلي والخارجي فكانا (109/ 127) مليميترًا، على التوالي.

لقد نصت تعليمات التحشية بأن يتم استخدام المزيج الرملي نوع (DS) عند وصول استهلاك المزيج السمنتي العادي والسمنتي الرملي حدًّا معينًا دون تحقيق غلق البئر المطلوب، وكانت نسبة السمنت إلى الرمل في خلطة المزيج نوع (DS) هي 1 : 1. وفي تطوير لاحق لهذه الطريقة، تم استعمال المزيج الجاهز (SS) المحضر بطريقة صناعية في معامل الخلط في ورش المقاول وإيصاله إلى رواق التحشية بنقله بواسطة الخباطات السيارة إلى أنبوب الخدمة على قمة السد وتفريغه هناك.

وكانت أوزان المواد في المزيج الجاهز كما يلي:

- السمنت: 465 كغم.
- الرمل: (0 ـ 4 مليمتر) 930 كغم.
- البنتونايت: 18,6 كغم.
- الماء: 465 لتر.

أي: أن نسبة الرمل إلى السمنت تساوي 2 : 1

ويمكن تلخيص تفاصيل عملية تحضير ونقل مزيج التحشية الجاهز نوع (SS)، بأن يتم خلط مزيج البنتونايت مع الماء في معمل تحضير البنتونايت العائد للمقاول الثانوي (روديو ـ كيلر) ويتم تحميلها في الخباطات السيارة لنقلها إلى معمل خبط الخرسانة العائد للمقاول الرئيسي (جيمود)، حيث يضاف هناك السمنت والرمل وبقية الماء المطلوب، ويكون حجم المزيج الجاهز الواحد المحمل على الخباطة السيارة (6) أمتار مكعب كحد أعلى. تقوم الخباطة السيارة بعد ذلك بنقلها إلى فوهة أنبوب الخدمة على قمة السد ويتم تفريغها في الأنبوب بواسطة قمع حديدي مثبت في قمة الأنبوب ويتم تخفيف سرعة انطلاق المواد عند وصولها داخل الرواق وتشتيت طاقتها بواسطة جهاز لتشتيت الطاقة (Enrgy Dissipator) لكي تحوَّل بعدها تدريجيًّا إلى خزان اهتزازي (Agitator Tank) ذو سعة (1) مترًا مكعبًا الذي يقوم بدوره بتغذية مضخة الحقن لدفع المزيج إلى خلال خط أنابيب إلى نقطة حقن البئر المطلوب.

حقق الأسلوب المذكور في إيصال واستعمال المزيج الجاهز قفزة نوعية بزيادة الانتاجية (10) مرات عن طريقة الخلط في داخل الرواق، وكان لهذه الطريقة فوائد أخرى، منها: عدم الحاجة إلى إضافة الحصى إلى الخليط السمنتي الرملي، وانتفت الحاجة إلى إعادة حفر الآبار مجددًا لتكرار التحشية، كما وألغت الحاجة إلى تنفيذ الصف الأمامي والصف الخلفي من آبار التحشية الإضافية أمام وخلف البئر المعالج بالنظر لسرعة الحقن وسريانه السريع والمستمر إلى مسافات بعيدة دون توقف.

غير أنه كان لهذه الطريقه محددًا واحدًا وهو عدم إمكانية ضخ المزيج الرملي في رواق التحشية إلى أبعد من (180) مترًا من نقطة الاستلام فيه بسبب الاحتكاك المتزايد في انبوب الضخ. ولتلافي هذا النقص، فقد تم حفر وتبطين بئر آخر أيضًا من قمة السد إلى داخل الرواق في المحطة (2+497) المقابلة للمقطع (71) في الرواق بطول (99,80) مترًا وبانحراف عن الشاقول بمقدار ($0°5'$)، واستخدم الأنبوب الحديدي بمواصفات أنبوب الخدمة السابق نفسه. كما تم تنفيذ بئر ثالث في مرحلة لاحقة من أجل تغطية كامل طول الرواق وذلك في المحطة المقابلة لمقطع (88) في رواق التحشية[8].

وتجدر الإشارة هنا، إلى القيام بعدة محاولات باستعمال أساليب ومواد مختلفة قبل التوصل إلى أسلوب التحشية الواسعة لكنها لم تلق القبول أو النجاح الكافيين. وتلخصت بـ: إضافة مادة الإكريلك لتسريع تصلب المزيج السمنتي الرملي قبل انجرافه بالمياه الجارية، غير أنه تم صرف النظر عن هذا النوع لسمية المادة المذكورة وكلفتها العالية.

أما المزيج الثاني الذي تم اقتراحه، فهو: استخدام هلام السليكا بخلط البنتونايت تدرج (0-0.08 مليمتر) مع سليكات الصوديوم ومادة معجلة للتصلب اسمها التجاري (Diurcisseure 600 B)، وقد صرف النظر عن استعمال هذا المزيج أيضًا لعدم توفر المعدات اللازمة لاستخدامه في الموقع.

وأخيرًا، فقد أجريت تجربة لحقن مزيج الخرسانة (المزيج CT13) التي تحتوي إضافة للسمنت على الرمل (تدرج 0-3 مليمتر) والحصى تدرج (3-8 مليمتر) والماء، وقد تم تجربتها في البئر (79T3A) ولم تلق النجاح المطلوب.

لذا، بقي أسلوب **التحشية التوسيعية** هو الأسلوب الوحيد الناجح لوقف التدهور السريع في ستارة التحشية ولغلق الكهوف الكبيرة جدًّا ـ ولو إلى حين ـ، لكنه لم يقدم الحل النهائي للستارة، حيث كان ولا بد من تكرار التحشية كلما ظهر تكهف

جديد أو انفتح تكهف قديم بسبب ديناميكية عملية الذوبان في الأسس، واعتبر أسلوبًا للصيانة المستمرة ليس إلا منذ ذلك التاريخ وحتى الآن.

على الرغم مما تقدم، فقد حققت **التحشية التوسيعية** كفاءات مقبولة في ستارة التحشية مما مكّن من إمرار الفيضانين الاستثنائين في أيار - نيسان (1988)، إضافة إلى التصاريف العالية جدًّا منذ بداية ذلك الموسم، وكانت ذروتي الفيضانين المذكورين قد قدرتا بمقدار (12000) متر مكعب بالثانية و(7100) متر مكعب بالثانية، لذا فقد تجاوز منسوب الخزان منسوب التشغيل الأعلى الاعتيادي البالغ (330) لفترة من الزمن انخفض بعدها بصورة بطيئة إلى منسوب (327)، خلافًا لخطة التشغيل لتلك السنة التي كانت تبغي إبقاء منسوب الخزان في منسوب (320) ثابتًا خلال الفترة من (16) نيسان إلى (30) منه، ومن ثم رفع المنسوب بصورة تدريجية إلى منسوب (322,5) خلال الفترة من الأول من أيار لغاية (15) منه، وأخيرًا الوصول بالمنسوب إلى (325) في (31) من أيار وعدم الوصول إلى منسوب (330) في هذه السنة، مع إبقاء المراقبة المكثفة على سلوك ستارة التحشية طوال تلك الفترة وما بعدها والاستعداد التام للتدخل السريع في حالات الطوارئ.

بهذا نرى، أن الخزن الفعلي قد تجاوز كافة الأهداف المرسومة في هذه الخطة بسبب كون الموسم الفيضاني استثنائيًّا بكافة المقاييس السابقة، ومع ذلك فقد تجاوز السد تلك المرحلة بسلام.

كما وجد المجلس والعاملون في السد بعد ذلك بأن حالة السد وكافة منشآته كانت مطمئنة نوعًا ما، وأنه قد حقق في تلك السنة أحد أهم أهدافه ألا وهي حماية حوض نهر دجلة في الوسط والجنوب من أحد المواسم الفيضانية المدمرة والاستثنائية ولم يتجاوز التصريف المطلق (5300) مترًا مكعبًا بالثانية، والذي تحقق في (20) نيسان (1988).

ومن الجدير بالذكر: أن المقاول (جيمود) كان قد سبق وقد قدم طلبًا إلى رب العمل في شباط (1988) من أجل تسليم العمل بصورة نهائية بعد انقضاء مدة الصيانة في (6) شباط (1988)، وبالتالي إصدار شهادة إنجاز العمل النهائية (Completion Certificate)، لذا طلب من مجلس الخبراء في جلسته المنعقدة في الشهر نفسه تأييد الطلب المذكور، وقد شهد المجلس في تقرير هذا الاجتماع بأن المقاول قد أنجز فقرات العمل كافة بدرجة عالية من الدقه وحسن التنفيذ وحتى تجاوز المواصفات أحيانًا.

نستنتج من كل هذا، بأن صيانة ستارة التحشية اللاحقة قد تم اعتبارها أمرًا مرتبطًا جدليًا بالطبيعة الجيولوجية للأسس في الموقع، ولم يكن للمقاول يد في اختيار هذا الموقع، وهو ما توصلت إليه دراسة بني ومشاركوه نفسها.

ونرى في هذا الصدد، بأن الموضوع يحتاج إلى بعض التأمل وأن ما ورد حول عدم مسؤولية المقاول هو أمر صحيح، لكنه يعني في الوقت نفسه مسؤولية الاستشاري بسبب عدم تقديمه الاستشارة الصحيحة منذ البداية، أو على الأقل نصيحة رب العمل بالتوقف عن التنفيذ بصورة مبكرة أو حتى باعتماد تصاميم أكثر نجاحًا من حلول التحشية؛ كاستخدام ستارة قاطعة موجبة في هذه التصاميم. إن هذا كله يعكس جهل الاستشاري أو عدم فهمه للحالة الجيولوجية الشديدة التعقيد بصورة كافية والطريقة الصحيحة للتعامل معها، على الرغم من أن رب العمل لم يدخر أي جهد في تنفيذ تحريات جيولوجية مكثفة وموسعة قبل تكليف الاستشاري بالتصاميم. ولقد كان جهل الاستشاري الكامل بالمشكلة واضحًا من خلال تردده عند التنفيذ في اتخاذ القرارات وتخبطه أحيانًا في بعض من تلك القرارات.

وإن ما خفف من وقع المشكلة هو الخبرة العالية جدًا لأعضاء مجلس الخبراء العالمي ومن استعانوا بهم من خبراء متخصصين بالتحشية، إضافة إلى أن المقاول الثانوي (روديو ـ كيلر) نفسه كان على درجة عالية من الحرفية والمستوى الرفيع في فهم وتنفيذ ميكانيكيات أعمال التحشية، كما ولم يدخر رب العمل أي جهد في صرف المبالغ الطائلة من أجل الحصول على مستوى مقبول رغم التجارب والتكرار المستمرين في التنفيذ وتجاوز الكميات في فقرات التحشية المنصوص عليها في شروط العقد بدرجة كبيرة.

ولا بد أخيرًا أن نذكر بأن المقاول (جيمود) قام خلال فترة الصيانة القانونية بتدريب فريق متخصص بأعمال تحشية صيانة الستارة من الفنيين والمهندسين والإداريين من منتسبي رب العمل ليكون هذا الفريق مستعدًا للتدخل السريع في حالات الطوارئ وإجراء الصيانة المستمرة طوال السنوات اللاحقة من عمر السد.

وكان الجميع قد أدركوا حينئذ أن هذه التحشية كانت أساسية لديمومة وبقاء السد والحفاظ على سلامته، ووصل الفريق المذكور إلى درجة عالية جدًا من المهارة مما مكنه من الاستمرار بالعمل بعد مغادرة المقاول الموقع وباستخدام المكائن والمعدات التي قدمها المقاول مجانًا إلى رب العمل كتعبير عن حسن النوايا. وقام رب العمل بتمديد عقد الاستشاريين السويسريين ثلاث سنوات إضافية لمواكبة تقديم

المساعدة لفريق الصيانة والقيام بالأعمال الاستشارية المطلوبة خلال تلك الفترة.

استمر فريق الصيانة العراقي بتنفيذ واجباته على مدى السنوات التالية وبثلاث وجبات يوميًا ولم يتوقف مطلقًا وتدخل للمعالجة الفورية والصيانة المتكررة للستارة طوال الفترة منذ ذلك الوقت وحتى حزيران (2014) عندما احتل تنظيم الدولة الإسلامية (داعش) مدينة الموصل في منتصف حزيران من تلك السنة. واتسم عمل الفريق العراقي طوال تلك المدة بالحرفية والدقة العالية، مما استحق عليه الإعجاب والثناء والمكافآت السخية. إلا أن تهديد داعش للموقع أدى إلى مغادرة الفريق وتركه العمل. وقد احتل التنظيم المذكور الموقع فعلًا في (8) آب من تلك السنة وعلى الرغم من أنه طرد منه في (18) من الشهر نفسه، إلا أنَّ من عاد من أفراد الفريق إلى الموقع بعد ذلك لم يتجاوز بضعة عشرات على الرغم من أن عددهم تجاوز (360) فردًا في الأوقات الاعتيادية قبل ذلك. وسوف نأتي على تفاصيل الصيانة للستارة العميقة في الفصل التاسع.

4 ـ دراسة بِنِي ومشاركوه (Binnie & Partners) حول الستارة القاطعة وذوبان الصخور الجبسية في سد الموصل

تعتبر هذه الدراسة من أهم الدراسات التي جرت خلال فترة التنفيذ عن مشكلة ذوبان الصخور الجبسية في الأسس وتنفيذ الستارة القاطعة للسد، فقد غيرت العديد من المفاهيم التي كانت سائدة عن تحشية هذه الستارة، حيث شارك في إعدادها عدد من الباحثين المتخصصين والخبراء العالمين، نذكر منهم الخبير العالمي بموضوع الصخور الجبسية الدكتور (A. N. James) وخبير السدود الدولي (Hew Fanshow)، ونذكر أن الأخير قد شارك أيضًا في الاجتماعات الأخيرة لمجلس الخبراء العالمي.

كان الهدف الأساسي من الدراسة التي تعاقد المقاول الرئيسي (جيمود) مع شركة بني ومشاركوه للقيام بها، هو المساهمة بالنقاشات التي جرت خلال تلك الفترة عن كيفية التوصل إلى الحلول المناسبة لمشكلة الأسس وللتوصل إلى حلول عملية للمشكلة. وتركزت في البداية على دراسة طبيعة الاستهلاكات العالية من مزيج التحشية السمنتي ومزيج التحشية السمنتي ـ الرملي وعدم النجاح حتى عند إضافة الحصى في عدد من المناطق في الأسس، إضافة إلى البحث في ميكانيكية تطور قنوات الجريان والتكهفات بمعدلات عجزت معها عملية التحشية عن مواكبتها

والتغلب عليها وبالتالي غلقها. لذا انطلقت الدراسة من السؤال: **هل كان ذوبان الصخور الجبسية يحصل بسرعة تفوق سرعة حقن المزيج؟**

وللإجابة على هذا السؤال، أجريت دراسة تحليلية باستخدام النظريات والمعادلات التي أوردها كل من (James and Lupton-1978)[9] و(James and Kirkpatrick-1980)[10] وتوصلت إلى جملة من الأمور؛ منها: أن كمية المواد الذائبة تتناسب عكسيًا مع الفرق بين تركيز محلول الجبس في منطقة الذوبان في الأسس عن حد الإشباع، وقد سمي هذا الفرق بقابلية الذوبان (Solution Potential) واعتبار حد الإشباع يساوي (1500) ملغم/لتر[1]، بمعنى آخر: كلما قلَّ تركيز الأملاح في المياه الواردة إلى منطقة الذوبان عن حد الإشباع كلما ازدادت قابلية الذوبان. كما تم التوصل إلى أن كمية المواد الذائبة تتناسب مع قابلية الذوبان المذكورة أعلاه مرفوعة للأس (3). بمقارنة الحسابات مع معلومات المزيج المستهلك في المقطع (79)، خلصت الدراسة إلى وجود شبكة متطورة من القنوات المتكونة بسبب الإذابة ذات أقطار مكافأة تصل إلى (30) ميليمتر أو أقل. كما استنتجت، بأن كميات المواد الذائبة منذ البدأ بالخزن كانت كبيرة بالفعل لكنها أقل من التقديرات التي أوردتها التقارير والدراسات السابقة.

وأخيرًا، فقد توصلت إلى أن معدلات هذا الذوبان لا تمنع من إمكانية التغلب عليه. استعرضت الدراسة بعد ذلك استخدام بدائل وأنواع جديدة من مزيج التحشية، مثل مزيج السمنت الهلامي (Gelling Cement) المخلوط مع الرمل والحصى المتدرجين أو حقن القير الساخن أو خليط السمنت ومحلول البنتونايت مع زيت الديزل وحتى إمكانية إضافة مواد مثل نفايات القطن المحلوج والذي سبق استخدامه في تحشية ستارة التحشية في سد دوكان في العراق خلال (1959) من القرن الماضي، أو إضافة أي مواد سيليلوزية أخرى من أجل التغلب على سرعة جريان المياه في الأسس، وأوردت الدراسة في الوقت نفسه محددات كل من تلك البدائل.

إضافة إلى ما تقدم، فقد تضمن العمل المطلوب من شركة بِني ومشاركوه إجراء استعراض واسع للبدائل الأخرى التي قد يمكن اللجوء إليها لحماية أسس السد من ظاهرة الذوبان، مع الأخذ بنظر الاعتبار ما يلي:

- وجود الكارست المتطور في الأسس لأعماق تصل إلى عمق (110) متر.
- إن كميات جريان المياه في هذه الأعماق عالية جدًا، مما يؤدي إلى ذوبان

طبقات الصخور الجبسية وبالتالي زيادة حجم مسالك الذوبان. وقد تم اكتشاف شبكة متطورة من هذه المسالك بين المقطع (75) و(92)، بالإضافة إلى التكهفات الكبيرة الأخرى.

ـ عدم القبول بتفريغ الخزان ابتداءً، على الرغم من أن هذا التفريغ سوف يؤدي إلى تقليل الضغط على المياه الجوفية ويسهل أي معالجة لاحقة.

لذا فقد تلخصت المقاربات المدروسة بما يلي:

• **أوَّلًا**: افتراض إمكانية ترسيب مواد غير قابلة للذوبان في الماء مثل سيليكات الصوديوم في مسالك وتكهفات الجريان عن طريق حقنها مع المياه الجوفية مما قد يؤدي إلى غلق تلك المسالك.

وقد رفضت هذه الفكرة، حيث سوف تكون المواد الواجب حقنها غير كافية لغلق كافة تشعبات شبكة الذوبان المتطورة مع عدم إمكانية التكهن بالطبيعة المتغيرة للجريان واتجاهاته.

ومن بدائل هذه المقاربة أيضًا، تغليف سطوح الصخور الجبسية كافة بطبقة عازلة تمنع وصول الماء إلى دقائقها وتؤدي إلى إيقاف ذوبانها مما يزيد من إمكانية السيطرة على جريان الرشح. وتتلخص الطريقة بإبقاء محلول مشبع بايون (SO_4^{++}) بصورة دائمة في تماس تام مع هذه السطوح، مما يعني تجهيزًا مستمرًّا لهذه المادة، ويتم ذلك بفرش طبقة من مسحوق الجبس في المقدم واختلاطه مع مياه الرشح في الأسس.

ويصطدم هذا الحل بالكميات الكبيرة جدًّا من المواد المطلوبة يوميًا، إضافة إلى عدم معرفة اتجاهات الجريان كما في المقترح السابق.

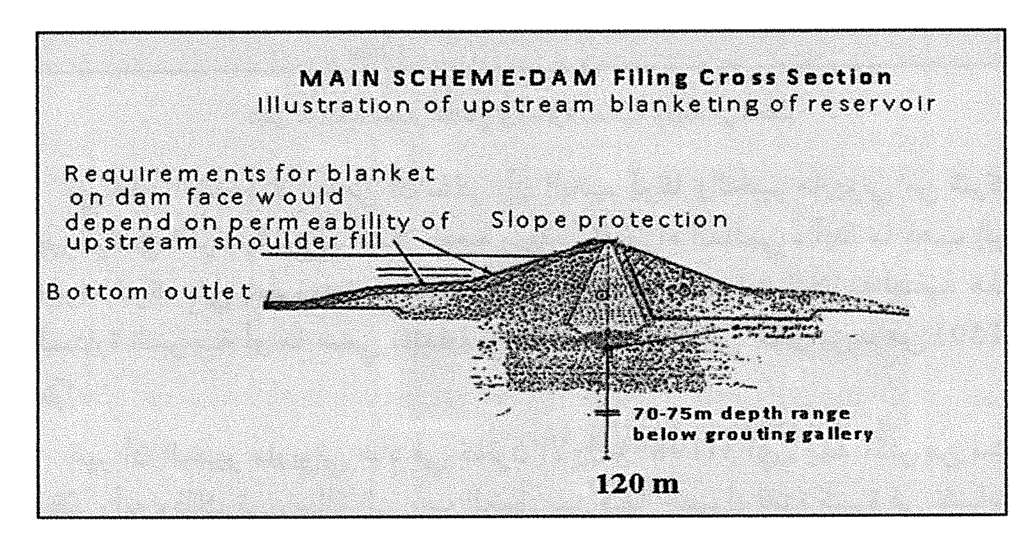
أما البديل الثالث لهذه الطريقة، فيكون بخلط محاليل كيمياوية مع المزيج السمنتي الرملي تتفاعل مع الصخور الجبسية مباشرة وتكوِّن طبقة عازلة تمنع ذوبانها، ومن هذه المواد الكيميائية مادة أوكزالات الكالسيوم، غير أن العائق الكبير في استعمال هذه المادة سُمِّيَّتها للإنسان والحيوان ومدى ديمومتها ومقاومتها أمام رشح الماء المستمر.

• **ثانيًا**: تتمثل هذه المقاربة بتنفيذ حواجز أو موانع لوقف الرشح أو تقليله للحدود الدنيا.

وقد درست عدة بدائل وكما يلي:

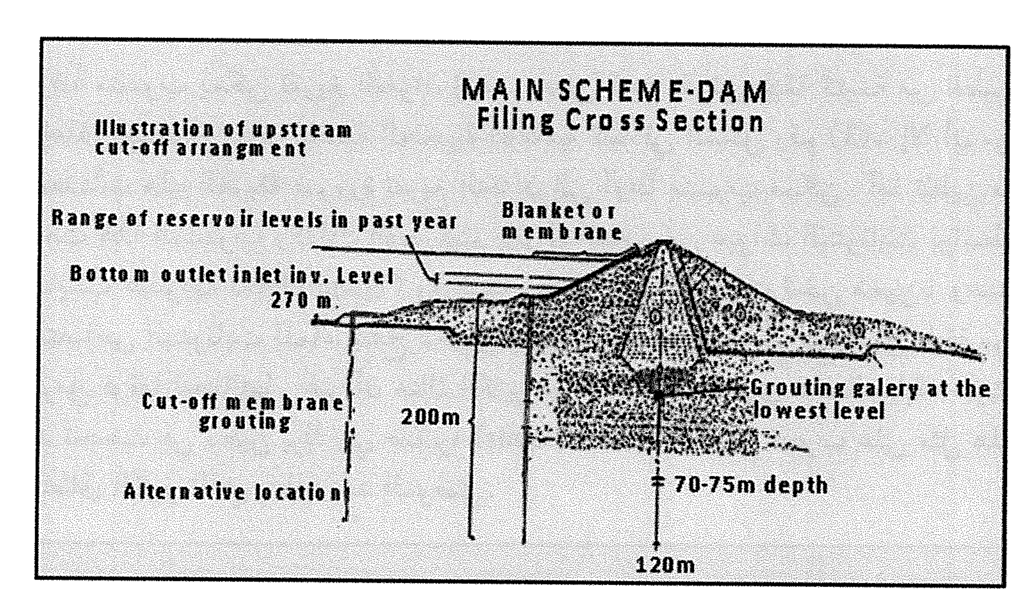
ـ **البديل الأول**: ويتضمن تبطين الوجه الأمامي للسد من منسوب (270) ـ وهو

أوطأ منسوب يمكن تفريغ الخزان إليه ـ وحتى قمته بفرش طبقة كتيمة من الطين وإعادة استخدام مواد التكسية الحجرية الأمامية كما في الشكل رقم (3)، إلا أن من محددات هذه الطريقة ضرورة تفريغ الخزان إلى أوطأ منسوب ممكن. أما تبطين ما تحت هذا المنسوب وكذلك القعر فيتم بإنزال أكياس من عبوات البنتونايت بواسطة أنابيب عمودية (Tremi Pipes) وفرشها بطبقة مستمرة ذات ثخن معين، وعند امتصاص البنتونايت للماء ينتفخ لتكوين طبقة عازلة وصماء، ثم يتم فرش طبقة من الرمل فوقها لحمايتها. غير أن هناك الكثير من الشك في جدوى هذه العملية، حيث قد نجحت في تبطين برك ري صغيرة (Irrigation Ponds) ولم تجرب على مثل هذا النطاق الكبير الذي يتطلبه سد الموصل.



شكل 3: استخدام طبقة الطين العازلة على الوجه الأمامي للسد

ـ **البديل الثاني**: ويكون بتنفيذ ستارة قاطعة موجبة (Positive Cutoff) وذلك من منسوب قمة القدمة الأمامية للسد وكما في الشكل رقم (4). وتكمن الصعوبة في هذا البديل، في المشاكل الكبيرة التي تنتج من تتابع الصخور الهشة بين قعر الخزان والطبقات الصلبة في العمق، بالإضافة إلى العمق الغير المسبوق لخندق الستارة المطلوب في هذه الحالة. وقد أشار التقرير توفر تقنيات يابانية في ذلك الوقت قد يكون بإمكانها الحفر إلى الأعماق المطلوبة في الطبقات الصخرية من المنسوب المقترح، إلا أن من المؤكد لن يكون هذا الأمر ممكنًا إذا ما تطلب التنفيذ من قمة السد إلى عمق الأسس، ولا توجد أي تقنية قادرة على الوصول إلى مثل هذه الأعماق في الوقت الحاضر مما يتطلب تخفيض منسوب الخزان وتفريغه إلى منسوب (270).



شكل 4: تنفيذ الجدار القاطع أو ستارة تحشية جديدة في المقدم

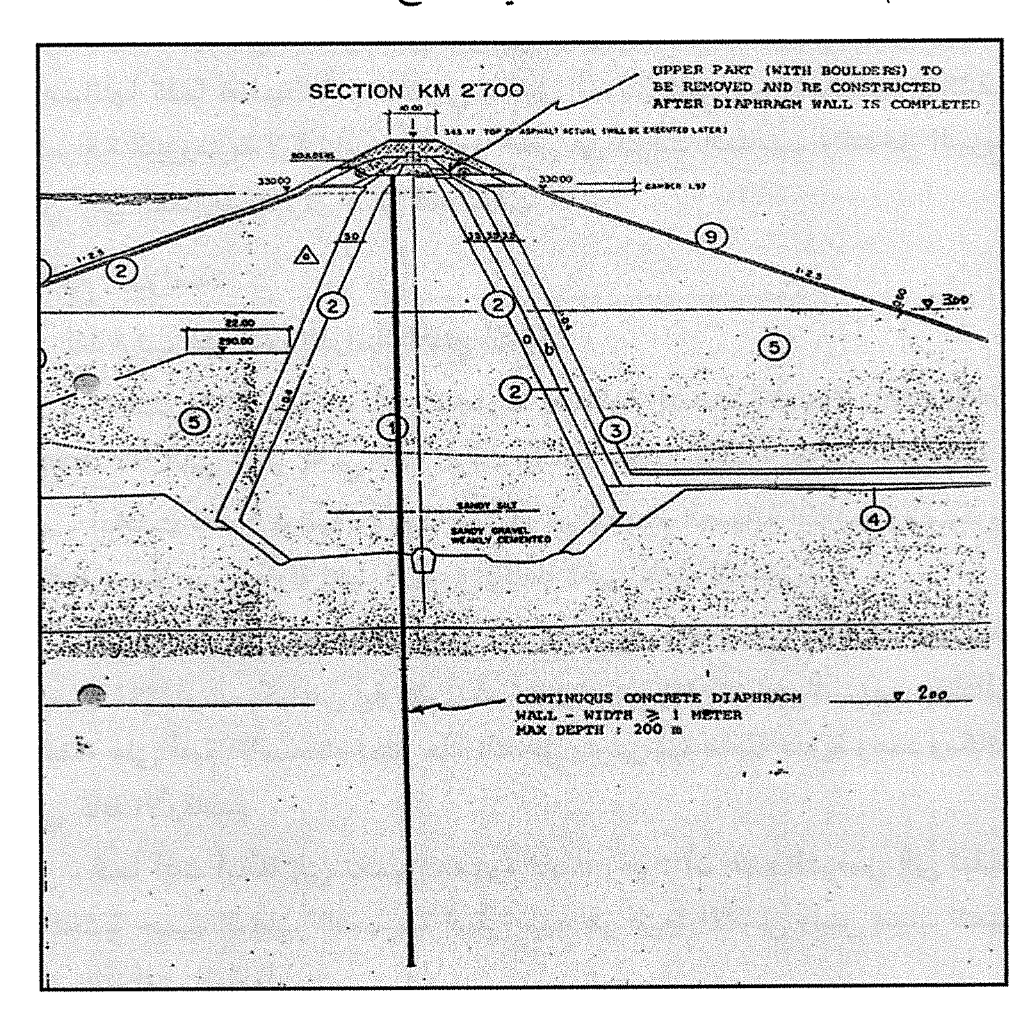
في هذا الصدد، لا بد من أن نذكر بأن الخبير لوكا والخبير ماريوتي من شركة جيوكونسل الفرنسية ـ وقد عملا بمعية مجلس الخبراء العالمي ـ أيدا ما ذهب إليه خبراء شركة بِني بعد زيارتهم الموقع من عدم توفر التقنيات اللازمة لتنفيذ هذه الستارة الموجبة أو ما سمي بالدايفرام (Diaphragm) إلى عمق يزيد عن (150) مترًا.

غير أن الخبير ماريوتي عاد في كانون الأول (1989)؛ أي: بعد أكثر من سنة وغيّر رأيه وذلك في رسالة إلى رب العمل بين فيها حصول قفزة كبيرة في تقنيات الحفر المطلوب لخندق الدايفرام باستخدام ماكنة للحفر ذات رأس دوراني متكون من دولابين مسننين يقومان بحفر الطبقات الصخرية عند دورانهما، ويتم دفع المواد الناتجة إلى السطح بواسطة مضخات هيدروليكية، وقد عرفت هذه التقنية بالهايدروفريز (Hydrofraise)، ويمكن حفر وتنفيذ الجدار القاطع من قمة السد بعد رفع الطبقة الفالقة مؤقتًا وإلى عمق يصل إلى (200) متر، وبالتالي تنتفي الحاجة إلى تفريغ الخزان.

لا شك بأن هذا العمل يتسم بالدقة العالية والحذر المتناهي، ويتطلب الدراسة المسبقة، وأن من المشاكل التي قد تظهر هي الصعوبة البالغة في المحافظة على الاستقامة الشاقولية للخندق المحفور وجعل صفائح الخرسانة المصبوبة متراصفة تمامًا في العمق دون أي إزاحات بينها. إلا أن الخبير ماريوتي، بين في رسالته بأنه

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/

قد تم تطوير نظام للسيطرة لتلافي هذه الانحرافات وتحقيق أفضل النتائج. وفي الشكل رقم (5) مخطط أرفقه السيد ماريوتي لتوضيح الفكرة[11].



شكل 5: إنشاء الجدار القاطع بحسب الخبير ماريوتي

- **البديل الثالث**: وهو إنشاء ستارة تحشية جديدة من سطح القدمة الأمامية للسد، كما في البديل الثاني المبين في الشكل رقم (4) واعتبارها بمثابة تقوية للستارة الأصلية أو العمل لوحدها كستارة جديدة. ويفترض هذا البديل: أن جيولوجية الأسس في الموقع الجديد سوف تكون مختلفة وأفضل من جيولوجية موقع الستارة الأصلية، وهذا الأمر غير صحيح، حيث تسود الحالة الجيولوجية الموجودة تحت السد هنا أيضًا. ويبين الشكل رقم (4) هذا البديل.

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press /سد الموصل/ سحب ثالث/

مما تقدم، **تخلص دراسة شركة بني ومشاركوه إلى الاستنتاج** بأن كافة البدائل المقترحة لن تحقق الغاية المطلوبة في منع الذوبان كونها غير عملية أو غير مقبولة أصلًا وأن لا بد من العمل على تحسين ديمومة الستارة الحالية قدر الإمكان وصيانتها كلما تطلب الأمر ذلك في مناطق الذوبان التي يتم تشخيصها وتكثيف المراقبة البيزومترية لاكتشاف أي تطور خطير في الوقت المناسب والتدخل السريع من أجل المعالجة وتكرار الأمر كلما تطلب الأمر.

نتائج الدراسة:

لقد ترتب على هذه الدراسة النتائج التالية:

ـ أعطت دفعة قوية لبرنامج تجارب إمكانية التحشية (Groutability Tests Program) الذي بوشر به في ذلك الوقت والذي سبقت الإشارة إليه في الفقرة (3).

ـ أدخلت هذه الدراسة مفهومًا جديدًا هو مفهوم الصيانة الدائمة والمتكررة للستارة بدلًا من محاولة تنفيذ الستارة الكاملة (غير القابلة للتحقيق).

ـ أكدت على الأهمية البالغة على المراقبة البيزومترية لستارة التحشية باعتبارها وسيلة للإنذار المبكر عن أية تطورات خطيرة وضرورة التدخل السريع، وبالتالي البقاء على أهبة الاستعداد لمثل هذا التدخل بتوفير قوة عاملة مدربة وعدد ومكائن في كافة الأوقات.

ـ كما أدت أيضًا إلى تعميق مفهوم ثابت وهو: أن عدم التوصل إلى تنفيذ التحشية حسب المعايير التصميمية المقرّة سببه هو طبيعة الأسس وليس بسبب تقصير أو خلل لدى المقاول.

ويمكن لنا في هذا المجال أن نتطرق إلى مفهوم القوة القاهرة (Force Majuer) الذي تنص عليه العقود الإنشائية الدولية منها والمحلية وشروط التأمين الهندسي وذلك لحماية الطرفين المتعاقدين في حالة عدم إمكانية تنفيذ العقد أو جزء منه لأسباب خارجة عن إرادة أو سيطرة الطرفين، حيث تعرف القوة القاهرة عادة: «وقوع حدث لم يكن بالإمكان توقع حدوثه أو كانت السيطرة عليه تحتاج إلى جهد لم يكن متوقعًا القيام به من أحد أطراف التعاقد أو كليهما، وعليه يعتبر الطرفان في حل من الالتزام بتنفيذ العقد أو جزءًا منه»[12].

5 ـ التقييم النهائي لستارة التحشية العميقة عند الانتهاء من تنفيذ العمل

مما لا شك فيه، أن تنفيذ ستارة التحشية في سد الموصل قد صادف الكثير من المشاكل والصعوبات، ومن الواضح أيضًا بأن ستارة التحشية في نهاية الأمر لم ترتق إلى الكفاءة المطلوبة عند الانتهاء من التنفيذ في مناطق متعددة منها، رغم كل الدراسات والتجارب والأساليب التي جرت. لا بد إذن ـ والحالة هذه ـ من تقييم العمل المنجز من أجل إعطاء الصورة الصحيحة عن هذه الستارة بعد الانتهاء من تنفيذها.

وفيما يلي تقييمين لهذه الستارة عند انتهاء أعمال المقاولة:

الأول: هو تقييم فني للعمل تضمنه التقرير الصادر عن الاجتماع الثلاثين والأخير لمجلس الخبراء العالمي للسد المنعقد في تموز (1989).

أما الثاني: فهو تقييم عام عن تفاصيل العمل المنجز، وقد ورد في التقرير النهائي لسد الموصل الصادر عن الاستشاريين السويسريين في كانون الأول (1989)[13].

ولم يتطرق التقييم الأخير إلى طبيعة أو أسباب عدم التوصل إلى المعايير التصميمية في بعض أجزاء الستارة أو المشاكل الفعلية التي واجهت العمل فيها أو حتى التكهن بمستقبلها. **وفيما يلي التقييمين المذكورين:**

* التقييم الأول (بحسب الاجتماع الثلاثين لمجلس الخبراء العالمي لسد الموصل):

أبدى المجلس قناعته التامة بالتعقيد الكبير في الطبيعة الجيولوجية والهيدروجيولوجية في الأسس، وأن هذه الطبيعة لا تزال غير واضحة تمامًا رغمًا عن كل ما جرى من تحريات ودراسات وتجارب في التحشية، إلا أن المجلس في الوقت نفسه يؤشر إلى النجاح المتحقق في مكافحة سرعة الذوبان الجاري بسبب تدفقات الرشح القوية في المقاطع (75 ـ 92) بالجمع بين استخدام المزيج السمنتي والمزيج السمنتي ـ الرملي واستعمال أسلوب **التحشية التوسيعية**. وبيّن المجلس إمكانية السيطرة على الذوبان المتسارع عند ارتفاع منسوب الخزان عند تطبيق هذه الأساليب.

وجد المجلس أنه في الوقت الذي حققت صيانة الستارة باستخدام هذا الأسلوب نجاحًا في رفع كفاءة الستارة، إلا أن هذا التحسن كان وقتيًّا امتد لبعض الوقت ولم

يدم طويلًا، وإنما عادت أمور الذوبان وتدهورت الستارة إلى ما كانت عليه سابقًا بسبب طبيعة المناطق الضعيفة وعدم استقرارية موادها، وإن إعادة التحشية هو أمر لا مفر منه وحتمي.

أكد المجلس أيضًا، عدم كفاية رصد القراءات البيزومترية لوحدها للتوصل إلى حساب الكفاءه الحقيقية للستارة، وإنما يتطلب في الوقت نفسه رصد كميات الرشح المصاحبة والذوبان المتحقق. فقد وجد المجلس من كميات التحشية بأن كمية المزيج المستهلك خلال (1988 ـ 1989) بلغت (20000) طن من المواد الجافة؛ أي: أن هناك كمية مماثلة من المواد قد ذابت من الأسس، لذا فإن معدل الذوبان اليومي إذا ما احتسب من هذا الرقم يزيد كثيرًا عن المعدل الذي تم احتسابه من دراسات سابقة، مما يؤشر تدهور الستارة بمعدلات متصاعدة عن السابق، في الوقت الذي أشارت البيزومترات تحسن في كفاءتها ولو لفترة من الزمن. وعليه، يتطلب التعامل مع أرقام الكفاءة المستخلصة بحذر، وضرورة التدقيق المستمر لرصد كميات مياه الرشح والأملاح الذائبة.

وتدارس المجلس ـ من الأرقام التي توفرت لديه ـ العلاقة بين زيادة كميات الرشح والذوبان وعلاقتهما بارتفاع منسوب الخزان، ووجد أن هناك زيادة في تصاريف الرشح بمعدل يقرب من (5%) عن كل متر إضافي يتحقق في منسوب الخزان، وافترض بأن هذا التغيير خطي وهو أمر متحفظ، حيث قد تكون الزيادة لوغارثمية، لذا فإن كميات الرشح سوف تزداد بنسبة (100%) في أفضل الأحوال إذا ما ازداد المنسوب من (310) إلى (330)، وهذا يعني زيادة معدل الذوبان إلى الضعف أيضًا، ويعتبر هذا من الاستنتاجات المهمه جدًا التي تشير إلى زيادة عامل الأمان كلما خفض منسوب التشغيل إلى مناسيب أوطأ وكذلك يعني ـ في ذات الوقت ـ تخفيض كميات التحشية المطلوبة في ستارة التحشية.

وقيّم المجلس وضعية امتداد ستارة التحشية في الجانب الأيمن واعتبرها جيدة نوعًا ما، بالرغم من أن هناك رشح كبير يحصل من حول نهايتها وليس من خلالها، وأن المياه الراشحة تستمر إلى منطقة المحطة الكهرومائية في المؤخر وقد تسبب في ذوبان طبقات الصخور الجبسية الموجود تحت جزء من بنايتها. إن هذا الرشح يحصل من خلال صخور تكوين الجريبي الكلسي المنفتح على الخزان فوق منسوب (327)، ولا سبيل إلى معالجة الأمر إلا بتغطية سطح هذه الطبقة داخل الخزان بفرش طبقة عازلة فوقه من الطين. وفي الجانب الأيسر ـ على الرغم من إجراء

التحشيات الإضافية لتعميق وتقوية الستارة في هذا الجانب ـ وجد المجلس أن هناك ما يزال كميات ملموسة من الرشح، كما ويلاحظ الارتباط الوثيق بين هذه الكميات ومناسيب الخزان.

* التقييم الثاني (بحسب التقرير النهائي لتنفيذ أعمال سد الموصل):

يمكن استخلاص عدة أمور من تقييم الاستشاري لأعمال التحشية التي نفذت في سد الموصل ـ كتحشية البساط تحت اللب الطيني، وتحشيات التقوية في أسس المنشآت، وتحشية التماس خلف بطانات الأنفاق، بالإضافة إلى تحشية الستارة القاطعة ـ، ولا يمكن هنا التطرق إلى كافة أشكال التحشية هذه، وإنما سينحصر البحث فيما ذهب إليه الاستشاري من تقييم للستارة بأقسامها كافة: تحت السد الرئيسي، والسد الثانوي، والامتدادين: في الجانب الأيسر، والجانب الأيمن.

وندرج فيما يلي نبذة مختصرة عن تقيم كل جزء من هذه الأجزاء وحسب ما أورده تقرير الاستشاري:

*** أوَّلًا: ستارة التحشية تحت السد الرئيسي:**

بالإضافة إلى شرح الأساليب وأنواع المزيج التي استخدمت والتي سبق شرحها وبصرف النظر عن كميات استهلاك المزيج العالية في الكثير من المناطق، فقد بين الاستشاري بأن هناك العديد من تلك المناطق في الستارة لم يتم التوصل فيها إلى تحقيق المعايير التصميمية المطلوبة لها في مقطع النهر وكتفه الأيمن، وهي:

ـ منطقة واسعة في صخور تكوين الجريبي تمتد بين مقطع (89) والمقطع (109).

ـ مساحات لا بأس بها في الصخور الكلسية الطباشيرية والصخور الجبسية والأنهايدرايت التي تتخللها والصخور الجبسية المتشظية في المناطق الانتقالية تحتها في المقاطع (79) لغاية (92) وفي المقاطع (93، 97، 102، 104، 106)، وفي المقطع (108).

ـ مساحة واسعة في طبقة (F-Bed) الكلسية فوق منسوب نفق التحشية بين المقطع (58) والمقطع (61)، إضافة إلى بقعة محدودة في المقطع (55).

ـ منطقة واسعة نسبيًّا تحت منشأ السيطرة للمسيل الرئيسي بين المقطع (49) وحتى بداية المقطع (54).

ويضيف التقييم بأن العديد من هذه المساحات قد تكررت معالجتها منذ انتهاء مدة التنفيذ.

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/

* ثانيًا: **ستارة التحشية تحت السد الثانوي بضمنه المسيل الاضطراري:**

تمتد مقاطع التحشية في هذا الجزء من مقطع (47) إلى مقطع (16)، وهي المنطقة التي ظهر فيها الرشح خلال الملْءِ الأولي واستمر لغاية الآن. وقد تطلب الأمر إجراء تحشية جديدة بإضافة صفٍّ ثانٍ من صفوف آبار التحشية وتعميق الستارة وحتى استخدام التحشية الكيميائية. وعلى الرغم من التحسن الواضح، إلا أنه لا يزال هناك بقع محدودة لم تتحقق فيها المعايير التصميمية المطلوبة بين المقطع (31) والمقطع (35) في أسس المسيل الاضطراري وكذلك في المقطع (38)، وإن بعض هذه المناطق تقع في طبقة (F-Bed) الكلسية وبعضها الآخر في طبقة (GB3) الواقعه تحتها.

* ثالثًا: **امتداد ستارة التحشية في الجانب الأيسر:**

وتتكون من صف واحد من صفوف آبار التحشية، وكان الهدف منها تقليل مياه الرشح المتسرب مباشرة من الخزان خلال طبقة (F-Bed) إلى المكمن المائي مؤخر السد الثانوي. ولم تتم السيطرة على نوعية الستارة التي تراوح عمقها بين (20) مترًا و(60) مترًا بإجراء فحوصات (لوجون) لقياس النفاذية المتبقية بعد إنجاز عملية التحشية، وإنما تم الاكتفاء بمراقبة وتسجيل استهلاك المزيج في الطبقات الصخارية في المقاطع المختلفة ولحين الوصول إلى ضغط الرفض.

وكان قرار الاستشاري هذا بسبب عدم وجود طبقات ذات قابلية عالية للذوبان، مما يقلل الحاجة إلى تخفيض النفاذية إلى درجة كبيرة فيها.

ومن الملاحظ، أنه قد تم تسجيل استهلاكات عالية من المزيج وصلت إلى (2000) كغم/متر في الآبار الأولية في المقاطع (201) إلى (198)، بينما كانت الاستهلاكات منخفضة نسبيًا في المقاطع من (197) إلى المقطع (189) ولم تتجاوز (300) كغم/متر. ولوحظ أيضًا، زيادة الاستهلاك كلما اقتربنا بعد ذلك من السد الثانوي وخاصة في المقطع (178)، حيث بلغ الاستهلاك فيه (3900) كغم/متر في بعض الآبار في النسق الثانوي، مما دعى إلى تنفيذ آبار بنسق رباعي؛ أي: بفاصلة (1,5) متر بعد إنجاز نظام التحشية الأساسي (Primary Pattern) في المقاطع (178، 180، 182). لقد كان تقييم الاستشاري النهائي لهذه الستارة هو أنها سوف تؤدي العمل المطلوب.

* رابعًا: **امتداد ستارة التحشية في الجانب الأيمن:**

وقد تم وصف هذه الستارة سابقًا، فاحتوت على صفين من آبار التحشية من

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/

المقطع (123) لغاية المقطع (132) وتراوحت أعماق الآبار في المقدم من (125) مترًا إلى (135) مترًا، بينما تراوح عمق الصف الخلفي من (60) مترًا إلى (90) مترًا للوصول إلى طبقة الطبقة الطينية الحمراء. وكان من الواضح بأن التتابع الطبقي للصخور في هذا الجانب مختلف عما هو عليه في الجانب الأيسر بسبب كون الكتف الأيمن وامتداد الستارة يقعان ضمن طية وادي المالح.

وقد تميزت طبقات الصخور الكلسية ـ الدولوماتية من تكوين الجريبي بنفاذيتها العالية، وبالأخص فوق منسوب (270).

قيم الاستشاري العمل المنجز في هذه الستارة استنادًا إلى الاستهلاك في كميات المزيج في مقاطعها المختلفة دون اللجوء إلى تطبيق معايير (لوجون) للنفاذية، وللسبب نفسه الوارد في حالة امتداد ستارة الجانب الأيسر. وقد تم تسجيل معدلات معتدلة من الاستهلاك عند إنجاز نظام التحشية الأساسي في آبار الصف الأمامي من الستارة المتكونة من الآبار ذات النسق الأولي والثانوي والثلاثي بين المقطع (123) والمقطع (130). وتراوح هذا الاستهلاك بين (295) كغم/متر في المقطع (123) و(944) كغم/متر في المقطع (127).

● إن تقييم الاستشاري العام للعمل المنجز في الستارة لم يتجاوز بضعة سطور، ونص على ما يلي:

«على الرغم من استمرار أعمال تحشية الصيانة الجارية في الستارة منذ سنة (1987) إلى الآن، فما زال هناك في أسس السد عديسات من المناطق تشكو من النفاذية المتصاعدة التي تفوق في قيامها المعايير التصميميّة، وبالأخص في مناطق من تكوين الجريبي وفي الطبقات الطباشيرية وما يتخللها من الصخور الجبسية والأنهايدرايت، وكذلك من الصخور الجبسية المتشظية التي لم تحقق التحشية فيها بالمزيج السمنتي نتائج إيجابية بالنظر لطبيعة تركيبتها.

ومما لا شك فية أيضًا، عدم إمكانية السماح بتطور نفاذيات عالية في هذه الصخور التي تتسارع فيها عملية الذوبان، **مما يقتضي التدخل والإسراع بتحشيتها دون أي تأخير بإجراء تحشية إضافية موضعية**».

● ويلاحظ من هذا التقييم أن الاستشاري حاول التخفيف من وقع المشكلة، لكنه في الوقت نفسه يؤكد بوضوح بأن سلامة السد تتوقف على تقليل أو وقف الذوبان بتقليل الرشح وذلك بواسطة تحشية الصيانة المستمرة، كما أنه لا يفصح عن أي أمل فيما يتعلق بالمدى الزمني لهذه الصيانة أو أي بديل مستقبلي لحل دائمٍ.

الهوامش

(1) **Argillite:** This is the rock name to remember when you find a hard, nondescript rock that looks like it could be slate but doesn't have slate's trademark cleavage. Argillite is a low-grade metamorphosed **claystone** that was subjected to mild heat and pressure without strong directionality.
(2) Ref. Note 21 of chapter 6
(3) Ref. Note 10 of chapter6
(4) Ref. Note 11 of chapter 6
(5) Ref. Note 26 of chapter 6
(6) Ref. Note 27 of chapter 6
(7) Ref. Note 28 of chapter 6
(8) Ref. Note 32 of chapter 6
(9) **Foam:** or cellular grout is a cement grout mixture that contains foaming agents (surfactants). The foaming agents create many small air voids in the mix that reduce the unit weight and improve flow of the mixture. Foam grout density ranges from about 30-80 pcf (480-1300 kg/m^3) which result in 28-day compressive strengths of 50-1200 psi (350-8300 kPa). The density and compressive strengths of the mix are tradeoffs: the higher the density, the higher the compressive strength. To achieve a specific compressive strength, different mix designs should be tested to find a minimum density to achieve the desired strength.
(10) Ref. Note 5 of chapter 7.

References / المصادر

[1] Maximovich N G. "Safety of dams on soluble rock (The Kama hydroelectric station as an example". Institute of Natural Science. 2006.

[2] Nedrigs V.P., Yanova, D., Construction Of dams on Soils Containing Soluble Salts, Report presented to the Soviet National ICOLD in Erevan. October 1984 and translated from Gidroteckhnicebeskoestroitel' stor. No2, Feb. 1986.

[3] F B Couch, F B Ressi diCervrvia. "Seepage cutoff wall installed through dam "Civil Engineering ASCE, January 1979.

[4] https://en.wikipedia.org/wiki/Wolf_Creek_Dam.

[5] Goel M. G, Sharma B. N. "Efficiency of Grout Curtain at Ramgange Dam". The First Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering. The University of Missouri of Science and Technology. USA. 1984.

[6] Binnie and Partners. " Foundation Cut-off-Notes and Observations for Discussion". September 1987. http://legal-dictionary.thefreedictionary.com/- force+-majeure.

[7] Rodio-Keller JV. "Mosul Dam - Main Dam Deep Curtain". November 1987.

[8] Saddam (Mosul Dam) Project Management. "Report on Conditions of Dam and its Functions Since Start of Operation until Present". September 1995.

[9] James, A N. Lupton, R R. " Gypsum and Anhydrite Foundations of Hydraulic Structures". Geotechnique, Vol.28, Issue September 1978.

[10] James, A N. Kirkpatrick, I M. " Design of Foundations of Dams Containing Soluble rocks and Soils". Quarterly journal of Engineering Geology.13.1980.

[11] Marriotti G, luga R. "Update to Report on Geoconseils Visit on diaphragm Cut-off wall solution". December 1988-July 1989.

[12] "The Free dictionary of Farlex http://legal-dictionary.thefreedictionary.com/force+majeure".

[13] Swiss Consultants Consortium. "Saddam (Mosul) Dam Main Scheme". Final Report-Volume 1. December 1989.

الفصل التاسع

أعمال الحماية لسد الموصل (1988 ـ حتى الآن)

1 ـ المقدمة

تباينت الآراء والأفكار حول إجراءات الحماية المطلوبة لسد الموصل وتراوحت بين إجراءات وقائية تعتبر أن انهيار سد الموصل هو أمر حتمي مما يتطلب حماية حوض النهر من الموجة الفيضانية المدمرة التي سوف تحصل، إلى إجراءات علاجية تؤكد على الاستمرار بتحشية الصيانة التي يقوم بها فريق العمل المدرب على يد المقاول قبل مغادرته الموقع.

إن ما حصل بالفعل، هو الجمع بين هذين الإجراءين، فقد باشرت وزارة الري منذ بداية (1987) بالتهيئة لإنشاء سد حماية مؤخر سد الموصل وهو ما عرف لاحقًا بسد بادوش، كما قامت بإسناد ودعم فريق الصيانة المذكور. لذا نرى أن من المناسب تفصيل هذين الإجراءين من أجل إعطاء صورة واضحة عن كل ما يتعلق بهذا الموضوع المهم.

2 ـ سد بادوش

قامت وزارة الري في سنة (1984) بتكليف الاستشاريين السويسريين بإعداد دراسة لموجة الفيضان التي تنتج من الانهيار الافتراضي لسد الموصل، وكان هذا الطلب متفقًا مع المعايير والممارسات الدولية، حيث إن من المعتاد أن يقوم مالكي السدود الكبيرة في العالم بمثل هذه الدراسات من أجل امتلاك تصور عما يمكن أن يحصل من خسائر ودمار فيما لو حدث مثل هذا الانهيار، مع الإدراك الكامل بعدم السماح بوقوعه وذلك بتبني أعلى المعايير التصميمية والتنفيذية، وتدارس إمكانية تخفيض الخسائر إلى أقصى حد ممكن بواسطة التخطيط المسبق لتحديد المناطق

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press /سحب ثالث/ سد الموصل/

الفيضانية (Zoning Flood) وعدم إنشاء مشاريع استراتيجية أو مناطق كثيفة بالسكان في المناطق الأكثر تعرضًا.

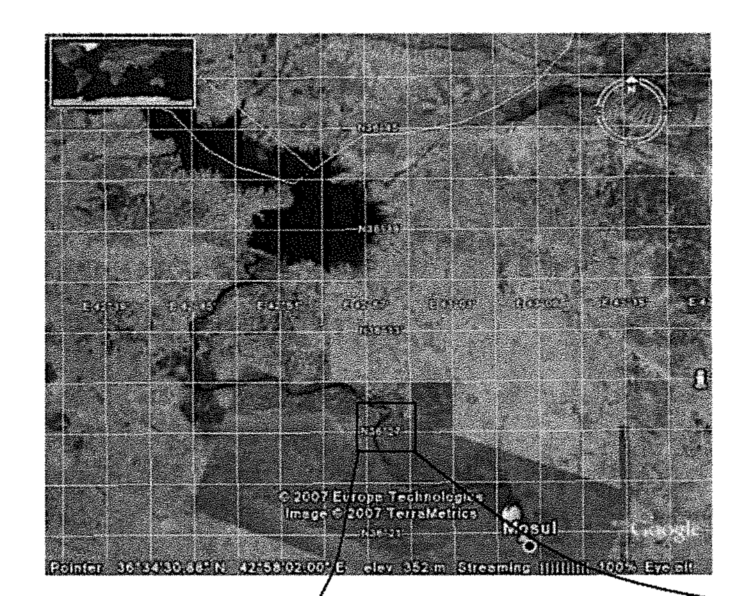
قدم الاستشاري تقرير الدراسة المنوه عنها أعلاه في سنة (1985)، حيث كشفت عن أن الأضرار التي يمكن أن تحصل تفوق في حجمها أية كارثة يمكن تصورها من حيث المساحات المعرضة للانغمار، إضافةً إلى الخسائر البشرية والبنى التحتية[1]، وسوف نشرح المزيد عن هذه الدراسة في الفصل العاشر.

ومن الأمانة القول، إن أمر انهيار سد الموصل لم يكن مطروحًا أبدًا على بساط البحث قبل (سنة 1987)، إلا أن ظهور الرشح والذوبان المصاحب له في أساسات السد سنة (1986) أديا إلى القلق المتزايد حول هذا الأمر، خاصةً بعد فشل الجهود المبذولة لتحقيق المعايير التصميمية لستارة التحشية تحت السد، مما دعى المسؤولين في الوزارة للتداول فيما يمكن اتخاذه من إجراءات للحماية من مثل هذه الكارثة. واستقر الرأي بعد المناقشات على تنفيذ سد للحماية من الموجة الفيضانية المتوقعة يكون بإمكانه استقبال الموجة وخزنها بصورة وقتية ريثما يتم تسليكها إلى مجرى النهر دون التسبب بإحداث حالة فيضانية مدمرة.

ومن نافلة القول، بأن تنفيذ سدود للوقاية من الفيضان حصرًا وليس لأي غرض آخر هو أمر معمول به في العديد من الحالات، ومثال على ذلك سد مونت موريس (Mount Morris) بسعة خزنية تزيد عن (372) مليون متر مكعب وسد سفن أوك (Seven Oak) بسعة خزنية تزيد عن (179) مليون متر مكعب، وكلاهما في الولايات المتحدة الأمريكية، غير أن تنفيذ سد حماية بسعة قد تتجاوز (10) مليار متر مكعب وكما يتطلبه الحال بالنسبة لسد الموصل هو أمر غير مسبوق بتاتًا.

وفي عجالة من الأمر، تم في بداية سنة (1987) اختيار موقع للسد الجديد في منطقة بادوش على بعد حوالي (40) كيلو متر جنوب سد الموصل، أي على مسافة (15) كيلومتر شمال مدينة الموصل نفسها قرب قرية (الدرنجوخ)، حيث يمر النهر في منطقة ضيقة بين جبل علّان على الجانب الأيمن ومرتفع من الأرض على الجانب الأيسر ويترك خلفه حوضًا واسعًا يمتد إلى ما وراء قرية أسكي موصل وحتى يصل سد الموصل التنظيمي، وبإمكانه استيعاب الموجة الفيضانية الناشئة من انهيار سد الموصل وكما مبين في الشكل رقم (1).

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/



Mosul dam





شكل 1: موقع سد بادوش بالنسبة إلى سد الموصل

لم تتأخر الوزارة طويلًا ـ حال تحديد الموقع ـ عن الطلب من بعض الشركات الأجنبية تقديم عروضها لبناء السد على أساس القيام بالتصميم والبناء (Design & Build)، إلا أن هذه العروض أهملت لكلفتها العالية ولعدم الوضوح في تحديد كميات العمل، فكلفت شركة الرافدين العامة لإنشاء السدود التابعة للوزارة التي كانت قد تأسست حديثًا لتنفيذ السد، وباشرت الشركة بالأعمال التحضيرية في الربع الثاني من سنة (1988).

تم سحب العمل من شركة الرافدين بعد فترة وجيزة جدًا لعدم توفر الإمكانيات المادية لديها وأنيط بمنشأة الفاو العامة، إحدى منشآت هيئة التصنيع العسكري؛ فقامت الأخيرة في تموز (1988) بالتعاقد مع شركة جيوتهنكا اليوغوسلافية (كرواتيا) لتنفيذ برنامج مكثف للتحريات الجيولوجية للأسس، وكذلك التعاقد مع شركة انركوبرجكت اليوغسلافية (صربيا) لإعداد التقرير الأولي والتقرير التخطيطي والتصاميم العامة النهائية، على أن يتم إعداد التصاميم لأغراض التنفيذ حسب تقدم العمل.

وقد أمكن من خلال تداخل عملية التحريات والدراسات والتصاميم بما يعرف بطريقة المسار السريع (Fast Track Method) بالمباشرة بتنفيذ حفريات أسس السد في اليوم الأول من كانون الثاني سنة (1988).

ومن الجدير بالذكر، أن الخطوة الأولى من الدراسات كانت للتأكد من السعة الاستيعابية للحوض مؤخر سد بادوش وإمكانيته خزن الموجة الفيضانية، وكذلك التوصل إلى منسوب الخزن الأعلى للخزان وتحديد الارتفاع المطلوب للسد.

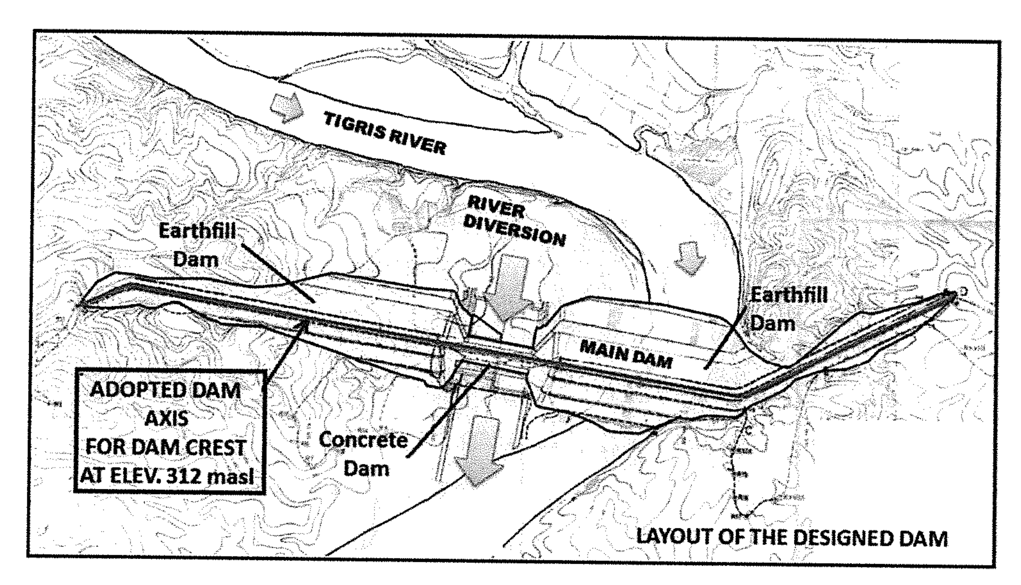
وقد تم ذلك من خلال تنفيذ دراسة على نموذج رياضي، وتم التحقق من النتائج بتنفيذ نموذج هيدروليكي جرى بناؤه وتشغيله في مختبرات ياروسلاف جيرني في يافّالا قرب بلغراد، وهو المختبر نفسه الذي نفذ أيضًا نموذج هيدروليكي آخر لتدقيق السلوك الهيدروليكي لبقية منشآت السد كالمسيل العلوي غير المبوب والمنافذ السفلى الثمانية المبوبة.

عمل المصممون بعد الاتفاق مع رب العمل على تحسين المؤشرات الاقتصادية للسد، بإضافة محطة توليد للكهرباء والاستفادة من فرق الارتفاع في منسوب الماء بين مؤخر محطة توليد السد التنظيمي لسد الموصل ومنسوب الماء مؤخر سد بادوش بما يحقق ضاغطًا مائيًا بمعدل قدره (17) مترًا وبالتالي يوفر إمكانية الحصول على سعة توليدية تبلغ (170) ميكاواط.

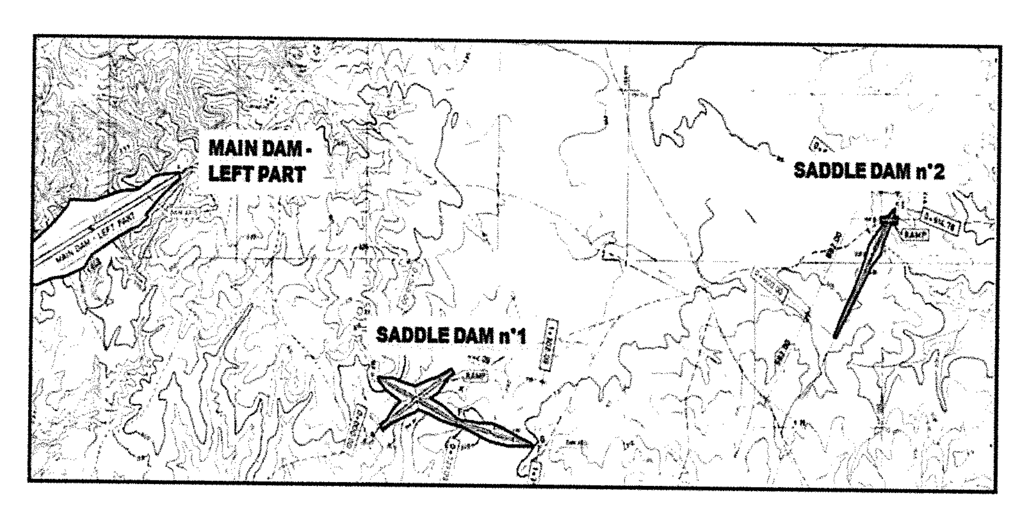
يتكوّن سد بادوش من جزئين:

الأول: ركامي ترابي ذو لب طيني مائل يمتد على جانبي النهر. ومنشأ خرساني كبير يجمع كل المنشآت الهيدروليكية ويقع في مجرى النهر، وللسد الرئيسي امتدادين في الجانب الأيسر بشكل سدين ثانويين واطئين (Saddle Dams) لغلق واديين غير عميقين، وبالتالي غلق الخزان حتى طريق موصل - دهوك. ويبين الشكل رقم (2) مخطط السد الترابي الرئيسي، كما يبين الشكل رقم (3) السدين الوقتيين في الجانب الأيسر.

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press /سحب ثالث/ سد الموصل/



شكل 2: مخطط لسد بادوش الرئيسي

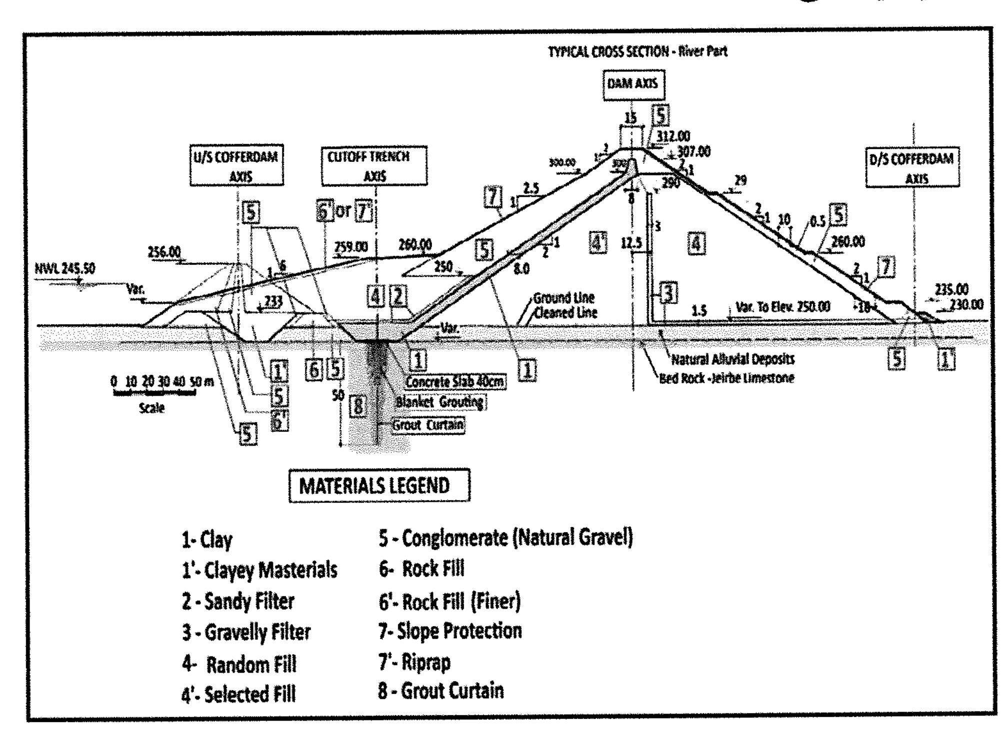


شكل 3: السدين الثانويين في الجانب الأيسر

روعي في تصميم السد، بأنه سيعمل كسد حماية لمرة واحدة فقط هي عند انهيار سد الموصل إذا ما حصلت هذه الحالة، وعندئذٍ سوف يصل منسوب المياه إلى منسوب (307) مما جعل قمة السد تثبت في منسوب (312). لقد تم تثبيت منسوب التشغيل الاعتيادي لغرض توليد الطاقة الكهربائية في سد بادوش بمنسوب (245,5)، وسيكون بإمكان المنافذ السفلى في السد إمرار تصريف قدره (8000) مترًا مكعبًا بالثانية وهو التصريف الذي سيصل إليه عند تسليك الفيضان الأقصى المحتمل لسد الموصل البالغ (27000) مترًا مكعبًا بالثانية وعندئذٍ سيكون المنسوب

الفيضاني في سد بادوش هو منسوب (250) مترًا، وعليه؛ فإن الفضاء الصافي للخزان هو (62) مترًا.

مما تقدم، سوف يبقى خزان سد بادوش فارغًا من منسوب (250) لغاية قمة السد. أما تحت هذا المنسوب فيعمل بصورة اعتيادية ومتواصلة كسد لتوليد الطاقة الكهربائية والاستفادة من فرق المنسوب بين مؤخر السد التنظيمي لسد الموصل ومؤخر سد بادوش نفسه. وفي الشكل رقم (4) مقطع نموذجي للسد الترابي الرئيسي في مقطع النهر.



شكل 4: مقطع نموذجي للسد الترابي في موقع النهر

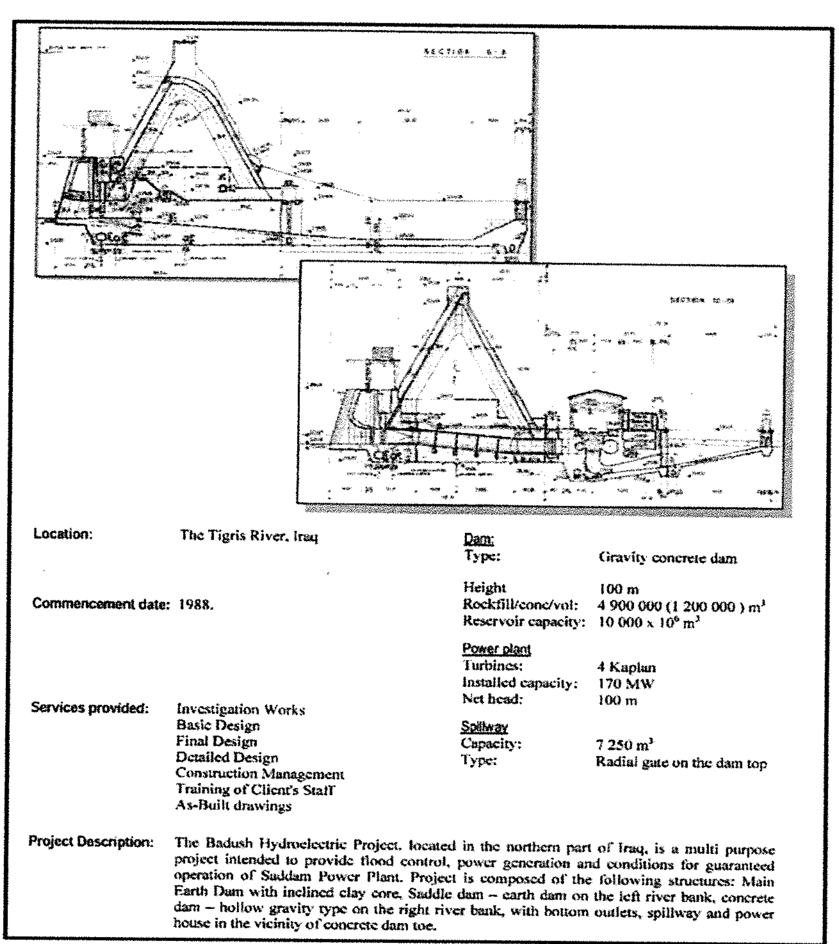
يلاحظ من الشكل (4)، بأن اللب الأصم غير سميك ومصمم للعمل خلال فترة تصريف موجة الفيضان الناتجة من انهيار سد الموصل، ولا يصلح إذا ما أريد من السد أن يكون للاستعمال الدائمي، ويقال الشيء نفسه بالنسبة لستارة التحشية، حيث يتطلب في تلك الحالة أن تكون أكثر عرضًا وأكثر عمقًا في الأسس.

أما الجزء الثاني: فهو من النوع الخرساني الثقيل المجوف (Hollow Gravity Dam) ويشغل الفضاء إلى اليمين من مجرى النهر ويتم تحويل النهر من خلاله، ويحتوي هذا الجزء على مسيل في الأعلى بشكل هدار غير مبوب يعمل في حالة

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press /سحب ثالث/ سد الموصل

انهيار سد الموصل لتصريف التصاريف التي تزيد عن طاقة المنافذ السفلى، كما ويضم الجزء السفلي منه المنافذ السفلى المبوبة الثمانية التي تعمل على تصريف مياه النهر في الأوقات الاعتيادية لغاية الفيضان التصميمي وكما تعمل مع المسيل العلوي عند تفريغ الموجة الفيضانية. وهناك أيضًا منشأ محطة التوليد الكهربائية في مؤخر السد الخرساني وكما سبق ذكره.

ويبين الشكل رقم (5) لوحة لمقطعين في السد الخرساني؛ الأول: يمر من خلال المنافذ السفلى والمسيل العلوي غير المبوب. أما في الأسفل: فإن المقطع الثاني يبين أنابيب التغذية للمحطة الكهرومائية والتي تقع في مؤخر السد. كما أن هناك شرحًا عن تفاصيل السد والمحطة الكهرومائية.



Location: The Tigris River, Iraq

Commencement date: 1988.

Services provided: Investigation Works
Basic Design
Final Design
Detailed Design
Construction Management
Training of Client's Staff
As-Built drawings

Dam:
Type: Gravity concrete dam
Height 100 m
Rockfill/conc/vol: 4 900 000 (1 200 000) m^3
Reservoir capacity: 10 000 x 10^6 m^3

Power plant
Turbines: 4 Kaplan
Installed capacity: 170 MW
Net head: 100 m

Spillway
Capacity: 7 250 m^3
Type: Radial gate on the dam top

Project Description: The Badush Hydroelectric Project, located in the northern part of Iraq, is a multi purpose project intended to provide flood control, power generation and conditions for guaranteed operation of Saddam Power Plant. Project is composed of the following structures: Main Earth Dam with inclined clay core, Saddle dam – earth dam on the left river bank, concrete dam – hollow gravity type on the right river bank, with bottom outlets, spillway and power house in the vicinity of concrete dam toe.

شكل 5: في الاعلى: مقطع شاقولي في منشا المسيل والمنافذ السفلى للسد الخرساني. وفي الأسفل: مقطع شاقولي للسد الخرساني يبين منافذ وانفاق الطاقة والمحطة الكهرومائية مؤخر السد. وهناك أيضًا بعض المعلومات العامة عن السد.

وفي الجدول رقم (1) التفاصيل الفنية المهمة لسد بادوش[2].

جدول 1: التفاصيل الفنية لسد بادوش

		التفاصيل
1	مجرى النهر في المقدم	التصريف الاقصى المحتمل = 27000 متر ^{3} / ثانية معدل التصريف السنوي = 667 متر ^{3} / ثانية تصريف الفيضان التصميمي خلال التشغيل = 8000 متر ^{3} / ثا
2	الخزان	المنسوب الاقصى للخزان عند انهيار سد الموصل = 307 متر منسوب الفيضان الاقصى عند حدوث الفيضان التصميمي = 250 متر منسوب التشغيل الاعتيادي = 245.5 متر منسوب التشغيل الادنى = 243.8 متر سعة الخزان = 10 مليار متر ^{3}
3	تصاريف المياه من السد	اقصى تصريف للمسيل العلوي غير المبوب = 4000 متر ^{3} / ثا اقصى تصريف للمنافذ السفلى = 8000 متر ^{3}/ثا
4	السد الركامي (الرئيسي والسدين الثانويين)	الطول الكلي للسد الرئيسي والسدين الثانويين = 3730 متر منسوب قمة السد = 312 متر اقصى ارتفاع للسد = 92 متر كمية الاملائيات في السد الرئيسي =3. 5 مليون متر^3 ارتفاع السدين الثانويين يتراوح بين 11 متر و22 متر كمية الاملائيات في السدين الثانويين = 1.75 مليون متر^3 نوع السد : ركامي ترابي ذو لب طيني مائل وقشره حصويه في المقدم ومثلها في المؤخر مع المرشحات
5	السد الخرساني	منسوب قمة السد = 312 متر اقصى ارتفاع للسد = 102 متر طول السد 248 متر منسوب عتبة المسيل العلوي غير المبوب = 294.7 متر عدد المنافذ السفلى = 8 عدد انفاق الطاقة (انابيب حديديه) = 4 نوع السد خرساني ثقيل مجوف (Hollow Gravity Dam) كمية الخرسانة = 1.575 مليون متر ^{3}
6	المحطة الكهرومائية	تصريف المحطة الاقصى = 275 × 4 = 1100 متر ^{3}/ ثانية اعلى ضاغط مائي للتوليد = 18.5 متر الضاغط المائي الاعتيادي للتوليد = 17 متر ادنى ضاغط مائي للتوليد = 15.7 متر سعة المحطة التوليدية = 4 ×42.5 = 170 ميكاواط نوع التوربينات : كابلان موقع المحطة : في مؤخر قدمة السد الخرساني الخلفيه

إن فلسفة تشغيل سد بادوش والهدف منه قد جعلت من تصميم السد الترابي مناسبًا لهذا الهدف، ولا يمكن لهذا السد أن يكون بديلًا للقيام بكل وظائف سد الموصل في حالة انهيار الأخير، وإنما سيقوم بخزن الموجة الفيضانية لفترة قصيرة قد لا تتجاوز بضعة أشهر ريثما يتم تصريف مائها بالكامل بصورة أمينة إلى مجرى النهر، وبالتالي لا يمكن الاستفادة من المياه كخزن دائم. وقد انعكس هذا الأمر على تصميم ستارة التحشية، حيث يتطلب في تلك الحالة ستارة أعمق وأكثر عرضًا بسبب ارتفاع منسوب الخزان الكبير في الحالة الأخيرة.

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press /سحب ثالث/ سد الموصل/

بالإضافة إلى ما سبق، فإن تصميم مقطع السد الترابي غير مناسب للخزن الدائم بسبب قلة سمك اللب الطيني وطبقات المرشحات.

ومن النقاط الإيجابية في موقع سد بادوش: أن الأساسات تتكون من صخور تكوين الجريبي الكلسية وأن طبقات تكوين الفتحة (الفارس الأسفل ـ سابقًا) الحاوية على الصخور الجبسية والأنهايدرات قد اختفت بسبب التعرية. لذا لا يمكن توقع حصول مشكلة الذوبان في الأسس كما في سد الموصل، إلا أن ذلك يحتاج إلى دراسة دقيقة وتحريات جيولوجية عميقة ومكثفة للتأكد من ذلك، خاصة وأن السد يقع في منطقة يسود فيها تكوين الفتحة وقد تظهر الطبقات الجبسية والأنهايدرايت في العمق أو حول الموقع.

تمت المباشرة بتنفيذ السد في الأول من كانون الثاني (1988) على أمل إنجازه خلال فترة لا تتجاوز الأربع سنوات، إلا أن العمل في السد توقف في بداية سنة (1992) بسبب حرب الخليج الأولى، ولم يكن بالإمكان الاستمرار به بعد ذلك بسبب تدمير معدات المشروع والبنى التحتية والأعمال الساندة كمخيمات العمال والمعامل والورش، وكذلك إجراءات الحصار الاقتصادي على العراق الذي فرض عليه طوال السنوات التالية لغاية سنة (2004)، وكان معدل الإنجاز المتحقق لذلك التاريخ بحدود (30% ـ 40%) في الفقرات المهمة من العمل.

وفي خلال السنوات اللاحقة، برز موضوع سد بادوش مرة أخرى باعتباره حلًّا دائمًا لمشكلة سد الموصل، فقد قام فريق من فيلق المهندسين الأمريكيين التابع للجيش الأمريكي (USACE) بزيارة موقع سد الموصل عدة مرات في الربع الثاني من سنة (2003)، وكان الهدف من ذلك تقييم سلامة السد. وكان من نتائج تلك الزيارات، أن تم التعاقد سنة (2004) بين قسم العقود في سلطة التحالف المؤقتة (CPA) مع اتحاد شركتي بلاك أند ڤيتش وواشنطن كروب إنترناشونال الأميركتين (Washington Group International & Black and Veatch. WGI/BV. JV) للقيام بإجراء دراسة موسعة عن سلامة السد.

لقد نص العقد المذكور، على قيام مهندسين من اتحاد الشركتين المذكورتين بزيارة الموقع والاجتماع مع إدارة المشروع وممثلي المديرية العامة للسدود ووزارة الموارد المائية[3]، كما تضمن القيام بجمع كل الدراسات والتصاميم والتقارير المتوفرة عن سد الموصل وإعداد قاعدة معلومات كاملة منها بشكل مكتبة إلكترونية للرجوع إليها مستقبلًا، بالإضافة إلى تأليف لجنة خبراء دولية من كبار المتخصصين

بالسدود لدراسة كافة الأوليات وإعداد دراسة مفصلة عن واقع سد الموصل واقتراح الحلول المتعلقة بسلامته، وأخيرًا فإنه على اتحاد الشركتين تقديم تقرير شامل مشفوع بالتوصيات.

قدمت الشركتان تقريرهما المنتظر في آب (2005)[4]، وسوف نتطرق إلى تفاصيله في الفصل العاشر من هذا الكتاب. ويمكننا هنا الاقتصار على ذكر ما ورد في حقل التوصيات فيما يخص سد بادوش وضرورته من أجل تأمين الحماية الكاملة لحوض دجلة من انهيار سد الموصل، وبالتالي تلافي الخسائر البشرية الكبيرة وحماية البنى التحتية فيه من الدمار.

فقد نصّت التوصية الأولى على ما يلي:

«في ضوء كافة سيناريوهات فشل سد الموصل التي تمت دراستها نرى ضرورة تنفيذ سد بادوش الواقع بين سد الموصل ومدينة الموصل من أجل تلافي الخطورة الحالية على حياة البشر في حوض النهر مؤخر السد».

وقد أضافت التوصيات أيضًا ما يلي:

«لا يمكن اعتبار الاستمرار في تحشية الأسس في سد الموصل حلًا بعيد المدى ولا يمكن الركون إليه من أجل تقليل الخطورة على حياة البشر القاطنين مؤخر السد. إلا أنه بالإمكان الاستمرار بأعمال التحشية باستخدام الأساليب الحديثة والمحسنة مع الاستمرار بمراقبة سلوك السد من أجل إطالة العمر الاقتصادي له والاستفادة منه ليس إلا».

مما تقدم، نرى أن لجنة الخبراء الدولية المتخصصة في الوقت الذي أوصت فيه بالاستمرار بأعمال التحشية المحسنة، فإنها لم تعتمد هذا الحل كحل نهائي لمشكلة الأسس، واعتبرت تنفيذ سد بادوش هو الحل الوحيد الموثوق به والذي يؤمن الحماية الكاملة المطلوبة.

وبقي الحال كما هو عليه بالنسبة لسد بادوش في الوقت الذي تواصلت عمليات صيانة ستارة التحشية في سد الموصل، حتى جاءت سنة (2006) عندما قامت وزارة الموارد المائية بتأليف لجنة خبراء دولية جديدة كان أغلب أعضائها من شركة (MWH Global.Inc)[1] الأمريكية للقيام بتقييم جديد للسد واقتراح حلول دائمة للمشكلة، فعقدت عدة اجتماعات تطرقت فيها إلى حلول للمشكلة واقترحت في تقرير الاجتماع الثالث لها المنعقد في أيار (2007) مجموعة توصيات يمكن تلخيصها بما يلي:

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press /سحب ثالث/ سد الموصل/

«في الوقت الذي يجب أن تستمر فيه أعمال تحشية الصيانة في ستارة تحشية سد الموصل، يجب الإدراك أن هذه التحشية لن تحقق الهدف المنشود على المدى البعيد حتى بإدخال أفضل وأحدث التقنيات. ويتطلب البحث في إمكانية إنشاء جدار قاطع (دايفرام) كحل دائم مع الأخذ بنظر الاعتبار بأن إنشاء جدار قاطع بهذا العمق البالغ (200) مترًا هو أمر غير مسبوق. لذا يجب التعاقد مع استشاري لدراسة هذا الأمر».

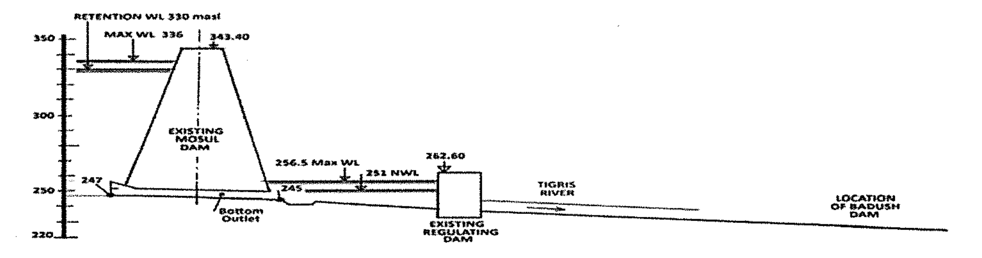
أما بالنسبة لسد بادوش فقد أوصى بما يلي:

«صرف النظر عن إنشاء سد بادوش كسد للصد، وإعادة تصميمه وتنفيذه كسد واطئ لتوليد الطاقة الكهربائية فقط، والتعاقد مع استشاري لإعداد دراسة جدوى فنية واقتصادية لهذا الحل»[5].

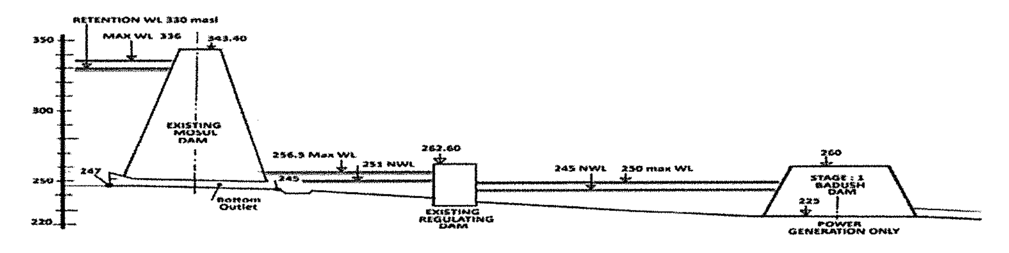
استنادًا على هذه التوصية، قامت وزارة الموارد المائية ممثلة بمركز الدراسات والتصاميم بالتعاقد مع مجموعة استشارية مكونة من شركات الكونكورد الأردنية وبول ريزو الأمريكية وانركوبروجكت الصربية لإعادة دراسة سد بادوش على الأسس أعلاه. وبوشر بالدراسة سنة (2008). وقد تضمن العقد عدة مراحل، كانت الأولى لتحليل وتقييم الأعمال المنجزة في سد بادوش، وتم تقديم تقرير هذه المرحلة في كانون الثاني (2009)[6]. أما المرحلة الثانية، فتضمنت التحقق من التصميم الهيدروليكي للسد وقدم تقرير هذه المرحلة في أيار (2009). أما المرحلة الأخيرة، فكانت لتقديم تصاميم جديدة ومستندات لعقود التنفيذ وقد قدمت هذه الوثائق في مطلع سنة (2010)[7].

تضمنت التصاميم الجديدة إكمال تنفيذ السد لغاية منسوب (260) كمرحلة أولية والاحتفاظ بمنسوب تشغيل اعتيادي قدره (245) وهو ما يؤهل السد لتوليد الكهرباء، كما هو الحال في التصميم الأصلي وخزن ما مقداره (500000) مترًا مكعبًا من المياه. ويكون المنسوب الفيضاني بدون انهيار سد الموصل (250) وهو المنسوب الذي يصله الخزان من الفيضان الوارد من سد الموصل والمتحقق عند تسليك الفيضان الأقصى المحتمل هناك وكما في التصميم الأصلي أيضًا. كما ويتم الاحتفاظ بإمكانية رفع المنسوب إلى (312) مستقبلًا لتأهيله كسد صد، اعتمادًا على حالة سد الموصل المستقبلية. ويبين الشكل رقم (6) تفاصيل المراحل المذكورة وكما وردت في تلك الدراسة.

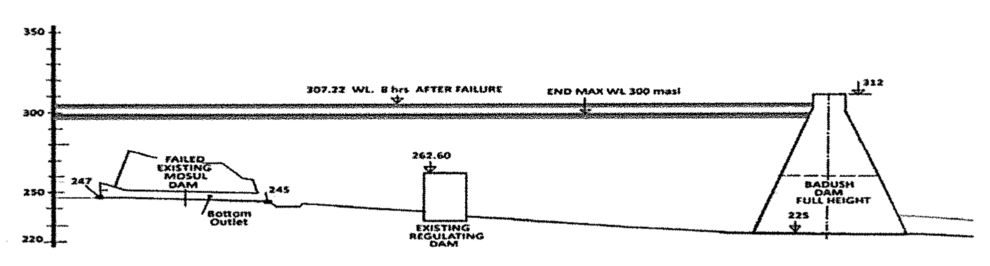
z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press /سحب ثالث/ سد الموصل/



1 : EXISTING MOSUL DAM



2: WITH BADUSH STAGE 1



3: WITH FULL BADUSH AFTER FAILURE

شكل 6: المراحل المقترحة لتنفيذ سد بادوش كما وردت في دراسة شركة الكونكورد ومشاركوها

ومما ورد في هذا التقرير، ضرورة هدم وإزالة معظم المنشآت الخرسانية المنفذة سابقًا وبكمية (450000) مترًا مكعبًا وإعادة النظر بإعمال التحشية وتنفيذ جدار قاطع (دايفرام) بدلها، وبلغت الكلفة الكلية المترتبة على التصميم الجديد ما يقرب من (1,5) مليار دولار. وقد اعترضت الهيئة العامة للسدود والخزانات على الكلفة العالية وكذلك على أعمال إزالة الخرسانة المصبوبة غير المبررة، بالإضافة إلى عدم جدوى توليد الطاقة الكهربائية بحسب رأي وزارة الكهرباء إذا ما كان هذا الهدف هو الأمر الوحيد المطلوب تحقيقه.

مما تقدم، تقرر رفض الدراسة وإعداد بدلها دراسة جديدة للجدوى الاقتصادية للسد وتقييم الآثار البيئية له، وأدى الأمر إلى تكليف تحالف مكون من شركة لبنانية (Team International) مع أخرى ألمانية (EDR) ـ في الربع الأول من سنة (2013) ـ،

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press /سحب ثالث/ سد الموصل/

لإعداد دراسة متضمنة تقييم لدراسة الكونكورد وثم دراسة الآثار البيئية، وأخيرًا إعداد دراسة الجدوى الفنية والاقتصادية المطلوبة.

قام تحالف الاستشاريين الجديد بتقديم دراسته في شهر تشرين الأول من سنة (2014). حيث أوضحت هذه الدراسة أن الهدف الأساسي من سد بادوش يجب أن يكون **لتوفير الحماية الفيضانية وليس توليد الكهرباء وذلك في ضوء الحالة الحرجة لسد الموصل**. لذا، فإن جدواه يجب أن تتجاوز البعد الاقتصادي إلى الحالة الإنسانية في تخليص مليون ونصف المليون نسمة من أخطار سد الموصل. واستبعد في الوقت ذاته خيار إزالة المنشآت الخرسانية القائمة والقيام بدلًا عن ذلك بإجراء بعض التغيرات على التصميم لتلافي هذا الأمر.

كما وأضافت الدراسة ضرورة تنفيذ جدار قطاع (دايفرام) لتعزيز حالة الأسس وبينت عدم وجود أية آثار بيئية سلبية من إنشاء السد. وقدرت كلفة تنفيذ المشروع للوصول إلى منسوب (260) بحدود (1,6) مليار دولار، أما الكلفة الكلية للوصول إلى منسوب (312) فكانت بحدود (2) مليار دولار[8].

ولم يستجد في موضوع سد بادوش شيءٌ جديد بعد ذلك، حتى تمت مناقشته أخيرًا في ورشة عمل خصصت لموضوع سد الموصل. وقد أقيمت الورشة المذكورة في ستوكهولم في أيار (2016)، وتوصل المشاركون ـ وكان بينهم عدد من الخبراء الدوليين ـ إلى جملة من الاستنتاجات والتوصيات وهي: أن سد الموصل يعاني من مشاكل بنيوية خطيرة في الأسس ويتطلب اتخاذ جملة من الإجراءات والاحتياطات لترصين الحالة فيه. أما فيما يتعلق بسد بادوش بالذات فكان الرأي هو ضرورة إنجاز هذا السد بعد إجراء تغيرات في تصاميمه من أجل منع أي كارثة كبيرة قد تنجم عن فشل سد الموصل. وأخيرًا، التوصية أيضًا بدراسة بديل محتمل سمي بالبديل المهجن (Hybrid)، وهو بإجراء معالجات محددة في سد الموصل للعمل أطول فترة انتقالية ممكنة يعمل فيها سد بادوش كسد للحماية في الوقت الذي يتم تحويله إلى سد بديل عن سد الموصل، ويجري بعد ذلك تفريغ خزان سد الموصل بصورة مسيطر عليها في خزان بادوش ويتم إجراء التغيرات المطلوبة لتغذية مشاريع الجزيرة الثلاثة من سد بادوش[9].

3 ـ أعمال صيانة التحشية

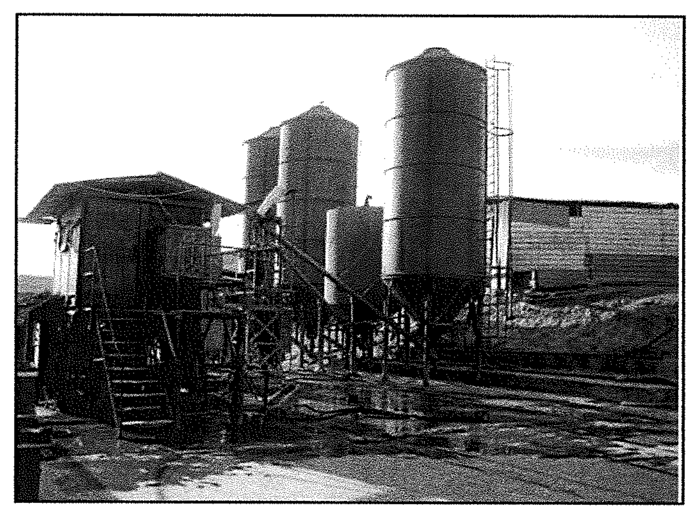
أدرك العاملون في تنفيذ سد الموصل وكذلك المشرفون على التنفيذ الحاجة الماسة لصيانة ستارة التحشية لفترة طويلة بعد إنجاز المشروع وقد يمتد الأمر طوال العمر التشغيلي للسد، وجاء هذا التحول في التفكير بعد أن باءت كل المحاولات

لتحقيق المعايير التصميمية المطلوبة بالفشل رغم كافة الأساليب التي تم اتباعها ومواد التحشية التي جرى استعمالها، هذا بالإضافة إلى الفهم الكامل بأن سلامة السد إنما ترتبط بمنع تطور الذوبان في الأسس وهو ما عجزت أعمال التحشية من تحقيقه. وقد سبق أن بينا تفاصيل هذا الموضوع في الفصل الثامن.

لقد كانت نتيجة الأمر، هو أن تعاون المقاول مع الاستشاري ومع رب العمل أيضًا من أجل تشكيل وتدريب فريق عمل احترافي من كوادر رب العمل من المهندسين والعمال الفنيين العراقيين، ومن الممكن أن يأخذ على عاتقه أعمال صيانة ستارة التحشية بصورة مستمرة، وكذلك قادر على التدخل الفوري في الحالات الاضطرارية. لذا فقد تم تدريب الفريق المذكور، وبدأ بالعمل تدريجيًّا بصورة مشتركة مع كادر المقاول واستلم حفارتي التحشية لهذا الغرض، واستمر في ذلك حتى شباط من سنة (1988) ليقوم بالعمل لوحده بعد ذلك.

ومن الجدير بالذكر، أن المقاول كان قد تنازل إلى رب العمل عن كافة حفارات التحشية وعددها ثمانية عشر حفارة ألمانية الصنع نوع وورث (Worth) مع كافة مضخات الحقن، بالإضافة إلى ثلاث معامل ثابتة لخلط مزيج التحشية.

أما تفاصيل هذه المعامل، فهي: معمل خلط لمزيج التحشية في الجانب الأيسر بسعة (20) مترًا مكعبًا بالساعة، وآخر مشابه له في الجانب الأيمن، أما المعمل الثابت الثالث فكان بسعة (7) أمتار مكعب بالساعة، بالإضافة إلى عدد من الخلاطات المتنقلة وما كان يستعمله المقاول كافة من رجاجات وضاغطات هواء وعدد ومواد. وفي الشكل رقم (7) صورة لأحد المعملين ذو سعة (20) متر بالساعة.



شكل 7: صورة لمعمل خلط مزيج التحشية الثابت سعة (20) مترًا بالساعة في الجانب الأيمن

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/

استمر فريق صيانة التحشية العراقي بالعمل بحرفية عالية جدًّا منذ سنة (1988) ولغاية منتصف سنة (2014) بشكل مستمر وبمعدل (24) ساعة يوميًّا وسبعة أيام في الأسبوع. إلا أن العمل توقف تمامًا عند سقوط مدينة الموصل بيد مسلحي الدولة الإسلامية (داعش) في (14) حزيران (2014) ومغادرة الكادر الفني للموقع. وقد احتل مسلحي التنظيم موقع السد نفسه يوم (8) آب من تلك السنة قبل طردهم من قبل القوات الأمنية بعد عشرة أيام من ذلك التاريخ.

لم يعد إلى الموقع من أفراد فريق التحشية بعد ذلك سوى بضعة عشرات، بعد أن كان تعداده قد وصل إلى (360) فردًا من مهندسين وتقنيين وعمال ماهرين. ويمكننا أن نعتبر بأن أعمال تحشية الصيانة بحكم المتوقفة منذ ذلك الحين، وإن ما أنجز من أعمال بعد ذلك التاريخ ما لا يعتد به.

ونذكر أيضًا، وجود برمجة سنوية للتحشية خلال كل السنوات السابقة يتم إعدادها وتنفيذها من قبل إدارة المشروع في ضوء قياسات رصيد بيزومترات رواق التحشية، وذلك للعمل في المقاطع التي تناقصت فيها كفاءة الستارة بصورة تدريجية بقصد ترميمها ورفع كفاءتها، بالإضافة إلى التدخل السريع والفوري عند ظهور حالات مفاجئة من التدني السريع في الكفاءة والتي تؤشر حالة من الذوبان السريع وتدفق كميات كبيرة من مياه الرشح في الأسس. واشتملت معالجات الصيانة هذه على أعمال التحشية الاعتيادية (Ordinary Grouting) وكذلك أعمال التحشية الواسعة (Massive Grouting) أو التحشية التوسيعية (Enlarged Grouting). وكان السياق المتبع هو السير بالتحشية الاعتيادية أولًا وعند الوصول إلى حد معين من الاستهلاك دون تحقيق ضغط الرفض فإن ذلك يؤشر عندئذٍ ضرورة المباشرة بالتحشية التوسيعية.

ومن أجل التذكير بما سبق وتم بيانه في الفصول السابقة، فإن نسب الخلط للمزيج الاعتيادي هي بكون نسبة الماء إلى السمنت (1 : 1) بالوزن مع إضافة (4%) من البنتونايت، أما خلطة التحشية التوسيعية فتتم بإضافة الرمل إلى المزيج العادي بحيث تتراوح نسبة وزن الرمل المضاف إلى وزن السمنت من (0.5 - 3.5) وتتم زيادة كمية الرمل تدريجيًّا حسب تقدم في العمل في عملية الحقن.

من أجل تحليل كميات الأعمال المنفذة من قبل فريق التحشية، لا بد لنا أن نقسم الفترة من سنة (1988) إلى سنة (2007) إلى مرحلتين: الأولى تمتد من سنة (1988) لغاية (2004) ثم الفترة ما بعد ذلك إلى الآن، وكانت سنة (2004) تؤشر

إلى اهتمام الجانب الأمريكي في سلطة التحالف بموضوع سلامة سد الموصل والتعامل معه كموضوع أمني لا يخص سلامة القوات الأمريكية فقط بل يهم العراق ككل. ويبين الجدول رقم (2) كميات أعمال التحشية المنجزة منذ سنة (1986) لغاية (2004)[4].

جدول 2: كميات التحشية (1986 ـ 2004)

	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUX	SEP	OCT	NOV	DEC	TOTAL	MASSIVE	GRAND T
1986	85	121	584	606	440	558	296	34	12	105	149	21	[illegible]		3011
1987	28	17	1007	220	671	196	379	688	477	1892	615	456	[illegible]	[illegible]	14430
1988	514	136	69	68	95			39	107	110	331	870	[illegible]	[illegible]	6759
1989	637	942	621	726	470	775	289	213	50	109	79	409	[illegible]	[illegible]	6787
1990	270	159	159		125	93	36	65	39	124	210	135	[illegible]	[illegible]	3680
1991	28				35	68	81	126	109	114	68	75	[illegible]	[illegible]	6756
1992	73	251	177	290	224	19	10	196	205	145	194	406	[illegible]	[illegible]	4736
1993	153	109	157	132	160		184	552	564	555	244	220	[illegible]	[illegible]	4681
1994	230	205	259	252	334	199	335	153	217	313	383	221	[illegible]	[illegible]	5287
1995	301	159	302	199	138	118	163	239	156	322	98	138	[illegible]	[illegible]	4283
1996	346	121	69	193	106	37	63	92	121	72	52	253	[illegible]	[illegible]	3749
1997	52	107	95	126	139	169	179	242	202	72	163	388	[illegible]	[illegible]	2299
1998	206	189	212	274	443	229	273	276	154	156	164	448	[illegible]	[illegible]	10662
1999	173	218	410	250	219	356	309	294	270	246	245	221	[illegible]	[illegible]	3807
2000	231	281	220	302	64	221	440	281	236	201	137	118	[illegible]	[illegible]	3151
2001	186	326	119	152	199	193	142	210	381	221	287	156	[illegible]		2572
2002	181	284	532	271	198	165	209	201	181	137	256	197	[illegible]		2812
2003	153	85	96	91	96	278	196	209	178	224	346	235	[illegible]	[illegible]	[illegible]
2004	278	230	186	112	145	145	230	202							93000

بالرجوع إلى الأرقام الواردة في الجدول رقم (2)، يتبين بأن الكمية الكلية من المواد الصلبة التي تم حقنها في ستارة التحشية للفترة المبينة كانت بحدود (93000) طن، أنجز منه ما نسبته (46%) أي بحدود (42000) طن في التحشية التوسيعية، أما المتبقي فقد تم في التحشية الاعتيادية، ومن الكمية الكلية أعلاه كان هناك (75550) طن أنجزت من قبل فريق صيانة التحشية العراقي منذ سنة (1988) لغاية سنة (2004).

ولعل ما تجدر الإشارة إليه في هذا الصدد، هو أن العمل المذكور قد أنجز في معظمه خلال ظروف الحصار الاقتصادي الخانق الذي فرض على العراق في آب (1990) ولم يتمكن الفريق من الحصول على مكائن أو عدد جديدة أو حتى مواد احتياطية للمكائن والعدد التي استلمها من المقاول، لذا اضطر إلى تصنيع العديد من قطع الغيار والمواد في ورش المشروع أو في الأسواق المحلية. كما تم استعمال عدد من الحفارات كمواد احتياطية لإدامة الحفارات الأخرى، ويقال الشيء نفسه بالنسبة لمضخات الحقن وغيرها من العدد والمكائن.

وتجدر الإشارة، إلى أن عدد الحفارات المتبقية العاملة في سنة (2004) كان (7) حفارات فقط من أصل (18) حفارة استلمها الفريق سنة (1988).

وقد سبق لنا أن بيّنا أيضًا، بأن الاهتمام بسلامة السد قد ازداد بعد سنة (2004) بقيام فيلق المهندسين التابع للجيش الأمريكي (USACE) بتقييم سلامة السد وما تبع ذلك من قيام دائرة المشاريع لإعادة إعمار العراق في سلطة التحالف المؤقتة بالتعاقد مع شركة واشنطن كروب إنترناشونال ومشاركتها شركة بلاك اند فييج لدراسة الحالة بصورة مفصلة، وقدمت الشركتان تقريرهما في آب (2005)[4]. وتضمن التقرير العديد من الاستنتاجات والتوصيات، منها ما توصلت إليه لجنة خبراء دولية (Panel of Experts-POE) من المتخصصين بالسدود والتي تعاقدت معهم الشركتان من ضرورة دعم وتحسين أعمال التحشية في سد الموصل من أجل إطالة عمره الاقتصادي وذلك بإدخال أساليب التحشية المحسنة، وذلك من ضمن توصيات أخرى سوف نأتي على شرحها في الفصل العاشر عند تطرقنا إلى دراسات تقييم سلامة السد.

وقد تبع هذه التوصيات أن قامت سلطة التحالف من خلال دائرة مشاريع إعادة إعمار العراق فيها وبإدارة فيلق المهندسين الأمريكيين بتخصيص مبلغ (27) مليون دولار في آب (2005) لاستيراد هذه المتطلبات من خلال إبرام (21) عقدًا للتجهيز مع نصب ما يتطلب نصبه منها كالسايلوات ومعامل الخلط الجديدة.

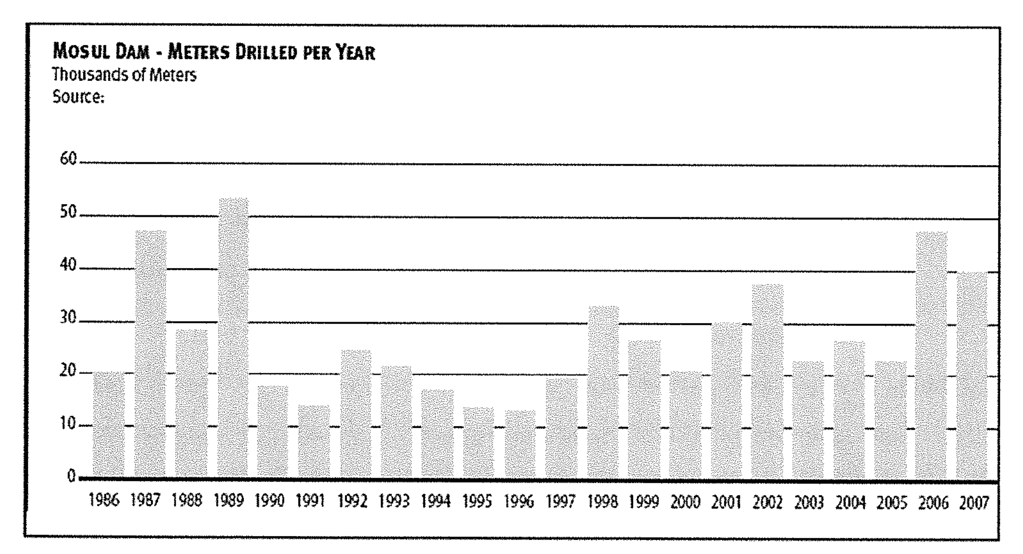
إن النتائج التي تمخضت عن تلك العقود كانت مخيبة للآمال، حيث يبين تقرير المفتش العام لبرنامج إعادة إعمار العراق وجود ثغرات خطيرة في تنفيذ تلك العقود، إما لوجود نواقص في التجهيز أو في عدم مطابقة مواصفات المواد المجهزة لمتطلبات تلك العقود أو الفشل في تقديم تصاميم تنصيب المعامل والمنظومات أو حتى عدم توفير التعليمات للاستفادة منها[10].

ويذكر التقرير وعلى سبيل المثال، بأن الجزء الأكبر من منظومة التحشية المتقدمة (Advanced Grouting System) وعددها ثلاثة منظومات وهي ما رمز له (AGS)، وكانت تشكل الجزء الأكبر من معدات التحشية الذكية (Intelligrout System) وردت ناقصة ولم يمكن الاستفادة منها بسبب عدم توفير مخططات الربط والتنصيب وغياب أية تعليمات للتشغيل، وقد اشتملت هذه المنظومات على معدات للتحشية المحسنة (Enhanced Grouting) بقيمة كلية قدرها (16,4) مليون دولار دفعت بالكامل للمجهز دون مطالبته بتجهيز الأمور الناقصة.

ومما تجدر الإشارة إليه، أن هذه المعدات تعمل على جمع ونقل المعلومات وخزنها وتحليلها بصورة آنية من أجل اتخاذ القرارات الفورية أثناء تقدم العمل في التحشية. وكان هناك نواقص وإخلال بمواصفات المواد والمعدات المجهزة في معظم العقود الأخرى، مما دفع المفتش العام للإعراب عن وجود فساد في التعامل مع هذه العقود وطلب إحالة الأمر للتحقيق. ولم تتح لنا المعلومات المتوفرة بأن نتعرف على نتائج التحقيقات، علمًا بأن كافة المبالغ قد دفعت من صندوق إعمار العراق الذي أدارته سلطة الاحتلال وتم تمويله من أموال العراق المجمدة بسبب العقوبات التي كانت قد فرضت على العراق بموجب الفصل السابع من ميثاق الأمم المتحدة سنة (1990) بسبب حرب الخليج الأولى.

ولا بد أن نذكر هنا بأن وزارة الموارد المائية لم تدخر جهدًا في هذا المجال، وتمكنت في ذلك الحين من الحصول على مساعدات من جهات دولية أخرى مكنتها من تعزيز عدد الحفارات وعدد من المعدات الأخرى وكان لتلك المعدات الأثر الواضح في زيادة الإنتاجية بعد سنة (2007).

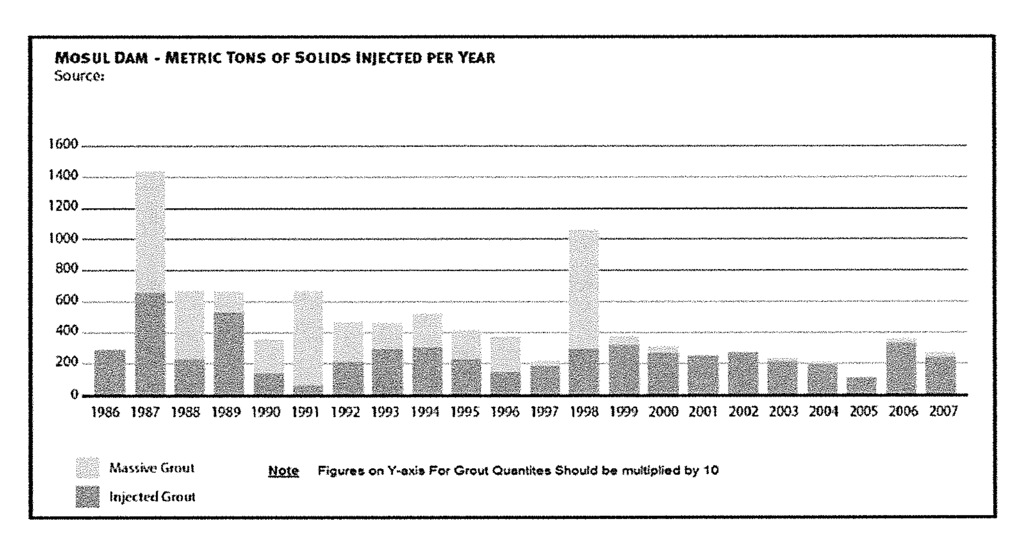
ويوضح الشكل (8) أطوال الآبار التي جرى حفرها في ستارة التحشية سنويًا بآلاف الأمتار، حيث نلاحظ زيادة واضحة بالكميات في السنوات (2006) و(2007) نتيجة لوصول المعدات الجديدة.



شكل 8: أطوال ثقوب التحشية المحفورة سنويًا بآلاف الأمتار (2007 - 1986)

ويمكننا أن نلاحظ من الشكل رقم (9)، بأن هناك انخفاض عام بكميات المواد الصلبة التي تم حقنها في الأسس بعد سنة (1999)، إلا أن ما يلفت النظر هو أن

التحشية كانت في الغالب تحشية وبكميات تكاد تكون مماثلة لكميات التحشية الواسعة قبل سنة (1999)، وهذا يعني فيما يعنيه بأن تكوّن التكهفات وفجوات الذوبان في الأسس قد استمر بنفس المعدلات السابقة، ويبين أيضًا بأن تأثير التحشية كان ولا يزال ذو أثر وقتي ولا بد من تكرار التحشية في نفس المقاطع بين الفينة والأخرى.



شكل 9: كميات التحشية الكلية والتحشية السنوية (تضرب الأعداد في المحور الصادي × 10) (1986 ـ 2007)

ولتقييم هذا الأمر بصورة أكثر وضوحًا، يمكن أن نأخذ الفترة بين سنة (2002) وسنة (2004) مثالًا على ذلك، فقد ورد مثل هذا التقييم في التقرير الذي قدمته لجنة الخبراء الدولية (POE) المتعاقدة مع اتحاد شركتي واشنطن كروب إنترناشونال وبلاك أند ڤيتش المؤرخ في (15) نيسان (2005)[11]، وتم تضمين هذا التقرير لاحقًا كملحق لتقرير الشركتين الذي سبق أن ذكرناه[4].

ويبين التقرير، بأن تحشية الصيانة قد تركزت في معظمها ومنذ سنة (1988) في المناطق العميقة من الأسس، خاصة في مناطق الصخور الجبسية والأنهايدرايت والتي قد تحولت إلى الصخور الجبسية المتشظية (GB0) الواقعة على عمق (100) متر، والتي تمت معالجتها من رواق التحشية. كما امتدت هذه التحشية أيضًا إلى مناطق أسفل خط الكارست بمقدار (20) مترًا؛ أي: بعمق كلي يبلغ (120) مترًا في تلك المقاطع، وتحديدًا في الطبقة السطحية من صخور تكوين الجريبي تحت طبعة (GB0). وهذا يعني أن الذوبان قد طال القسم السطحي من هذا التكوين الذي كان قد اعتبره الاستشاري أصمًا عند بداية العمل. كما أن هناك شواهد عن تطور

جبهة الكارست (الذوبان والتكهف) وحركتها باتجاه ميل طبقات الأسس (Dip) أي باتجاه الشرق.

ولخصت لجنة الخبراء ملاحظاتها بخصوص المقاطع التي تمت معالجتها خلال الفترة (2002 ـ 2004) وكما هو مبين في الشكل رقم (10)، حيث امتدت معالجات التحشية الرئيسية بين مقطع (66) إلى المقطع (111)، مع تكرار المعالجات في العديد من تلك المقاطع خلال تلك الفترة القصيرة التي لم تتجاوز الثلاث سنوات، وكما هو واضح من الجدول رقم (3) الذي يبين تكرار التدخل بالتحشية في المقاطع المبينة خلال تلك السنوات الثلاثة.

جدول 3: تكرار التحشية في المقاطع (66 ـ 111) للفترة (2002 ـ 2004)

Year	2002	2003	2004			2002	2003	2004			2002	2003	2004
Section					81		X			97	X*		
66	X				82	X		X		98			
67					83		X			99			
68	X	X			84		X			100			
69			X		85			X		101		X	
70	X				86			X		102			
71					87		X	X		103			
72	X				88	X				104		X	
73			X		89			X		105			
74	X				90	X*				106			
75	X				91			X		107			
76	X*				92			X		108			
77			X		93	X	X,			109			X
78	X				94	X	X			110			X
79			X		95	X*				111			X
80	X		X		96	X*				112			

*** كانت هذه المقاطع قد عولجت أيضًا في سنة (2001)**

ويلاحظ من الشكل رقم (10)، أن استهلاكات المزيج كانت معتدلة ولم تتجاوز (200) كغم/متر في (9) مقاطع، بينما كانت كبيرة وتتراوح بين (200) كغم إلى (500) كغم/متر في (8) مقاطع، كما يؤشر الشكل معالجة تكهفات كبيرة جدًّا على عمق (75) مترًا في المقطع (83) وكذلك على عمق (70) مترًا إلى (73) مترًا من المقطع (80)، وقد استعملت في هاتين الحالتين التحشية التوسيعية بإضافة الرمل إلى مزيج التحشية.

ومما تجدر الإشارة إليه، بأن عدد الحفارات العاملة داخل الرواق كانت (5) من أصل (7) وهي كل ما تبقى لدى فريق الصيانة من حفارات في تلك الفترة، وقد أثر

ذلك كثيرًا في الحد من الإنتاجية مما كان له الأثر البالغ في محدودية المعالجات وجعلت فريق الصيانة في حالة حركة مستمرة على طول رواق التحشية.

وقد أوردت لجنة الخبراء في معرض تقريرها خلاصة بتفاصيل كفاءة التحشية التي تم الحصول عليها خلال السنوات (2002 ـ 2004) في المقاطع (60 ـ 111)، وقد استخلصت هذه النتائج من تسجيلات البيزومترات المنصوبة في رواق التحشية واستعمال معادلة الكفاءة التي سبق ذكرها في الفصل الثامن، وكما هو مبين في الشكل (11).

ومن تحليل لجنة الخبراء أيضًا، فقد وجدت تفاوت قيم كفاءة الستارة من مقطع إلى آخر وفي المقاطع نفسها أيضًا خلال تلك السنوات. كما لوحظ أن الكفاءة قد وصلت إلى قيم متدنية جدًّا مثل (6%) و(19%) و(33%) و(35%) في العديد من المقاطع خلال تلك الفترة، لتعود وتحقق نتائج عالية بعد المعالجة. لذا يمكن القول، بأن أعمال صيانة الستارة هي أعمال جوهرية لسلامة وديمومة السد على الرغم من أن الآثار المترتبة على تكرار هذه العملية بصورة متواصلة تؤدي بالنهاية إلى إضعاف الأسس وجعلها أكثر هشاشة على المدى البعيد، وكما سبق شرحه في الفصل السابع. إن هذا الأمر يفسر سبب توصية لجنة الخبراء العالميين في عدم اعتماد صيانة التحشية كحل نهائي.

وقد أيدت دراسة قام بها مركز البحث والتطوير الهندسي في فيلق المهندسين التابع للجيش الأمريكي ـ صدرت في أيلول (2007)[12] ـ صحة ما ذهبت إليه لجنة الخبراء الدولية، فقد أعادت دراسة الوضع الجيولوجي العام لأسس سد الموصل والتطورات التي رافقت عمليات صيانة التحشية ولخصت تكراراتها حسب المواقع المختلفة وأبدت ملاحظاتها عليها. ويبين الشكل رقم (12) تكرارات التحشية في المقاطع المختلفة ومخطط يبين انتشار هذه العملية خلال السنوات (2002 ـ 2006)، كما تخلص الدراسة المذكورة إلى استنتاج لجنة الخبراء نفسه الذي أشرنا إليه من حيث تطور حالة الأسس نحو الأسوأ، سنة بعد أخرى.

ووجدت الدراسة آنفة الذكر، بأن هناك بعض المقاطع التي تمت معالجتها في سنة معينة، ثم جرت معالجة المقاطع إلى اليمين وإلى اليسار منها في السنة اللاحقة. كما أن هناك مساحات من ثلاثة مقاطع متجاورة أو ربما أكثر من ذلك قد عولجت خلال السنة نفسها أو خلال سنتين متتاليتين، مما يعني أن معالجة مقطع

معين قد زاد نسبة الذوبان فيما جاوره من المقاطع. وكان هناك أيضًا بعضٌ منها تمت معالجته ثلاث مرات أو أكثر خلال مدة خمس سنوات.

أما المقاطع التي كانت الأكثر تحديًا والأصعب معالجةً طوال فترة الصيانة لغاية تاريخ الدراسة، فهي المقاطع من مقطع (78) لغاية مقطع (93)، وهي المقاطع التي تغطي مجرى النهر الأصلي والمؤشرة باللون الأحمر في المخطط المبين في الشكل (12)، وكان من بينها مقاطع تطلبت التدخل السريع والاضطراري لمنع تدهورها في الوقت المناسب وهي المقاطع من مقطع (80) إلى المقطع (83).

ووضحت الدراسة على المخطط نفسه وباللون الأزرق مناطق المعالجات تحت السد الرئيسي التي تمت خلال تلك المدة مع العرض بأن المقاطع من (94) لغاية (115) أظهرت تجاوبًا جيدًا وسلوكًا اعتياديًا مع المعالجة ولم تتطلب التكرار. كما وصفت كفاءة الستارة في المقاطع من مقطع (60) لغاية المقطع (90) بأنها أظهرت تباينًا كبيرًا فيما بين المقاطع المختلفة، فبينما كانت قيمتها عالية وجيدة في البعض منها، كانت منخفضة ورديئة في الأخرى. وإن هذا يعني بأن فريق صيانة التحشية كان ملزمًا بالتحرك سريعًا من نقطة إلى أخرى خاصة في الرواق وبصورة مستمرة.

وترى الدراسة أن من بين المقاطع التي يتوجب الانتباه لها المقطع (79) الذي تطلب تكرار عملية الصيانة فيه لعدة مرات منذ سنة (1987)، ومنها أربعة مرات خلال خمسة سنوات متتالية، وكانت المؤشرات تظهر بأنه في حالة متطورة من الذوبان في طبقة (GBO) في عمق الأساس. وأشارت عمليات الصيانة بأن جبهة الذوبان قد انتشرت من هذا المقطع باتجاه الشرق وعلى طول ميل الطبقات الصخارية (Dip) لتصل إلى المقطع (69) في سنة (2007)، أي بمقدار عشرة مقاطع بطول (350) مترًا خلال فترة عشرين سنة، أي: بمعدل سنوي يزيد على (17) متر خلال تلك الفترة.

أولًا: إن تحشية الصيانة كانت مفيدة جدًا خلال السنوات الماضية لوقف تدهور الحالة في ستارة التحشية العميقة، إلا أن أثرها كان ولا يزال إلى الآن وسيبقى في المستقبل وقتيًا ولن تستطيع هذه التحشية منع حالة الذوبان في الأسس بصورة تامة ونهائية. وعليه؛ فهي لن تمثل الحل الدائمي لمشكلة سلامة سد الموصل وسوف تسهم فقط في إطالة عمره، ليس إلا.

ثانيًا: إن تحشية الصيانة في مقطع معين قد أدت إلى تحويل جريان المياه

وتدفقها إلى المقاطع المجاورة لتجد منفذًا جديدًا لها وتسهم في تدهور الستارة في المقاطع التالية مما أدى إلى تكرار التحشية في تلك المقاطع، كما أسهمت بالنتيجة أيضًا في حركة جبهة الذوبان نحو مقاطع جديدة باتجاه الشرق لتزداد رقعة العمل وصعوبته.

ثالثًا: إن حقن مواد التحشية في عمليات الصيانة قد أدى إلى إحلال مواد أقل تماسكًا من مواد الطبقة الصخرية الذائبة، وهي مواد أقل ما يقال عنها بأنها أسهل انجرافًا بالمياه. وبذلك فإن المحصلة النهائية هي أن مناطق واسعة من تلك الطبقات الصخارية قد وهنت وفقدت جزءًا لا يستهان به من مادتها الخام، وسرّعت من تكهفها، وانخفضت قدرتها على تحمل الأثقال المسلطة عليها مما يعرضها للانهيار. والدليل على ذلك، أن مؤشر نوعية تلك الصخور (RQD) قد انخفض نتيجة تكرار التحشية، حيث تم تسجيل ذلك من معاينة اللباب المسترجع من آبار التحري الجيولوجي في المناطق قبل وبعد أعمال التحشية المذكورة.

ولا بد لنا بعد استعراض هذه الدراسات والاستنتاجات من معرفة شيء عن أعمال تحشية الصيانة التي جرت بعد سنة (2007) وتحديدًا من سنة (2008) ولغاية منتصف سنة (2014).

وفي واقع الأمر، لم يتسن لنا الحصول على أية معلومات عن فعاليات التحشية هذه سوى النزر اليسير منها. وقد رفض طلبنا للحصول عليها من قبل المديرية العامة للسدود والخزانات بحجة سرية المعلومات، وأن الجانب الأمريكي يرفض تزويد أية معلومات عن ذلك، مما أثار استغرابنا عن علاقة الموضوع بالجانب الأمريكي.

وعليه ننتظر قيام جهة أجنبية أخرى بنشر دراسة جديدة عن سد الموصل أسوة بالدراسات السابقة لكي نتطلع على الحالة الحقيقية لستارة التحشية خلال تلك الفترة ليتأكد لنا عندئذٍ بأن ما هو متاح للباحث الأجنبي هو غير متاح لنا.

على أية حال، فقد تمكنا وبجهود شخصية مشكورة من بعض الأصدقاء من الحصول على سبعة جداول لكميات التحشية الشهرية على مدى السنوات المذكورة. وقد استخلصنا من تلك الجداول الشهرية المعلومات الواردة في الجدول رقم (4) لكميات التحشية السنوية خلال الفترة من سنة (2008) لغاية منتصف سنة (2014) وأدرجنا بعض الملاحظات عنها.

Aspects of drilling and grouting works in Gallery, 2002-2004.

ITEM		2002	2003	2004
Total Quantities	Drilling (m)	37216	22827	26550
	Grouting (m)	36823	22848	26493
	Redrilling (m)	72615	69596	81562
	Cement (tons)	2704	2103	1945
	Bentonite (tons)	104	84	49
	Sand (m³)	–	79	42
General Progress		Eighteen new sections (66, 68, 70, 72, 74, 75, 78 to 80, 82, 88, 93, 94, 98 to 102) plus completion of five (76, 90, 95, 96, 97)	Eleven new sections (81, 83, 84, 87, 105 to 111) plus seven underway (68, 93, 94, 101 to 104)	Eleven new sections (69, 73, 77, 79, 80, 82, 85, 86, 89, 91, 92) plus four underway (87, 109, 110, 111)
Pattern of Grout Takes per Section	V. low = 0 to 50 kg/m	66, 70, 72, 74, 75, 76, 78, 79	68, 84, 102 to 104	69, 73, 77, 79, 80, 82, 86
	Low = 50 to 100 kg/m	80, 82, 95, 96	81, 87, 94, 101, 105 to 108	87
	Average = 100 to 200 kg/m	90, 97 to 99	83, 93	85, 89, 91, 111
	Considerable = 200 to 500 kg/m	88, 100	109 to 111	92, 109, 110
	High = 500 to 1000 kg/m	None	None	None
	V. high = > 1000 kg/m	None	None	None (one sand stage in 80 at 70 to 73 m)
	Sand Cement Grouting	None	One stage at 75 m in Section 83	One stage at 70 to 73 m in Section 80
Highest Water Discharges per Section	0 to 10 l/min	66, 70, 72, 74, 75	68, 81	
	10 to 50 l/min	78	103, 106, 107	73, 77
	50 to 100 l/min		102, 104, 105	
	100 to 200 l/min	82, 97	101	80, 82, 85, 86, 87
	200 to 500 l/min	76, 80, 95, 96		89
	500 to 1000 l/min	79, 90, 98, 99, 100		
	> 1000 l/min	88		
			Not all data provided	Not all data provided

شكل 10: تفاصيل أعمال تحشية الصيانة للسنوات (2002 ـ 2004) بحسب المقاطع وكميات استهلاك المزيج[11]

Progress of drilling and grouting works in Gallery, 2002-2004.

ITEM		2002	2003	2004
Grouting Gallery Piezometers: Efficiency of Curtain at Maximum Pool	Sections 60 to 69	[2001 data] Upstream piezometers increased due to seepage from far left and spillway	-	"Bimodal" distribution – some low, some excellent (19 to 83%)
	Sections 70 to 79	Reasonable (96 to 66%) except for sections 70 and 75 (< 50%)	"Bimodal": some low, some high (35 to 96%)	"Bimodal" – range 33 to 93%
	Sections 80 to 89	Good (89 to 51%) except for section 82 (35%)	Broad range from very good to acceptable (56 to 90%)	Variable, from very good and satisfactory (61 to 88%) to poor at section 82 (6%)
	Sections 90 to 99		Good (61 to 91%)	Good (64 to 91%)
	Sections 100 to 111	Very good	Very good (72 to 83%)	Very good (72 to 83%)
	Overall	Good, averaging 71%, but with some sections < 50% (now being rectified)	Good, averaging 76%, but with some low sections (82 to 64). Very good from sections 83 to 111. Better than in 2002 (which was 69% on average)	Good, averaging 71%. Very good from sections 83 to 111. Poor in certain sections between 64 and 82. Sand cement grouting had considerable benefit.

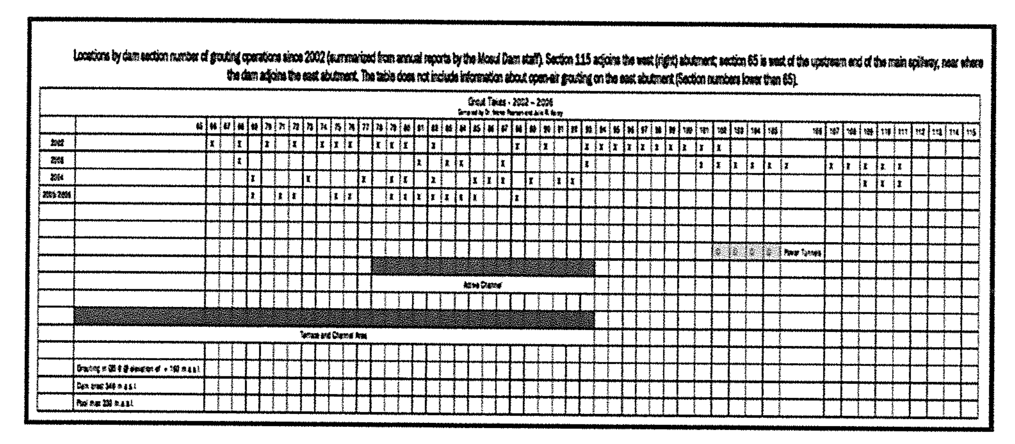
At the end of September 2000 ,the Followinf values of effiencey were given

Sections	Curtain Efficiency	Overall Assessment of Conditions
95-89, 84, 81-79, 77-76	72 to 80%	Very good
88, 85, 78, 74-72	60 to 70%	Good
83, 80	50 to 60%	Acceptable
75, 74, 70-67	< 50%	Low

It has become customary at Mosul Dam to quantify the "efficiency" of each section of the curtain as follows:

$$\frac{\text{Upstream p.z. EL} - \text{Downstream p.z. EL}}{\text{Reservoir EL} - \text{Tailwater EL}}$$

شكل 11: تفاصيل قيم كفاءة التحشية في المقاطع (66 ـ 111) حسب قراءات البيزومترات للسنوات (2002 ـ 2004)



شكل 12: مناطق تحشية الصيانة تحت السد الرئيسي وتكرارها (2002 ـ 2006)[12]

ويمكننا أن نستخلص النتائج التالية من هذه الدراسة كما يلي:

جدول 4: كميات تحشية الصيانة السنوية (2008 ـ حزيران 2014)

1	2	3	4	5
السنه	السمنت (طن/ سنه)	التحشيه (متر/ سنه)	حفر ابار (متر/ سنه)	اعادة حفر (متر / سنه)
2008	4540	68252	100411	114709
2009	1995	66338	72338	51082
2010	3205	82601	97382	121239
2011	4340	64097	74309	149506
2012	4018	65709	77424	163935
2013	3474	52276	58006	166415
2014	1973*	23344*	24085*	796238*
*ان الكميات المدونه لسنة (2014) هي للفتره من شهر كانون الثاني لغاية حزيران من تلك السنه لذا فسوف يتم اهمالها في هذا التحليل فتكون المجاميع للسنوات (2008) لغاية (2014) كما مبين في ادناه				
المجموع	21572	399273	479932	766886

ونلاحظ من المعلومات الشهرية التي تم توفيرها لنا، بأن كميات التحشية قد احتسبت باطنان السمنت المستهلك في التحشية شهريًا، لذا قمنا باحتساب الكميات السنوية المبينة في الحقل (2) من الجدول (4)، ولم تبين تلك الجداول الشهرية كميات المواد الصلبة التي تم حقنها مع السمنت، فلم تدرج مثلًا كميات الرمل المستخدم في عمليات التحشية الواسعة ولا كميات البنتونايت التي استخدمت في التحشية سواء الاعتيادية أو الواسعة.

وهنا يمكن لنا أن نسأل: هل أن أعمال التحشية الجارية خلال تلك السنوات كانت جميعها اعتيادية ولم يكن هناك حالة من التحشية الواسعة؟ وإذ كانت هناك تحشية واسعة لماذا لم يتم ذكرها؟ وأين حصلت؟ وكم استهلكت من الرمل؟ ولماذا لم تذكر كميات البنتونايت في كافة الأحوال؟

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press /سحب ثالث/ سد الموصل/

أما الأمر الثاني الذي يثير التساؤل، فهو كميات التحشية التي وردت في الحقل (3) من الجدول (4) والتي استخلصناها من مجاميع الكميات الشهرية، فقد وردت بذكر الأمتار التي تمت تحشيتها من دون تحديد أرقام المقاطع التي جرت فيها وعدم ذكر أية تفاصيل عن الأعماق التي استهلكت أكثر من غيرها. ويلف الغموض أيضًا كميات حفر الآبار الواردة في الحقول (3) و(4) و(5) من الجدول (4). ونلاحظ في هذا الصدد، أن أطوال آبار التحشية المحفورة المبينة في الحقل (4) من الجدول (4) تتجاوز الأطوال التي تمت تحشيتها المبينة في الحقل (3)، وهناك فرق بحدود ستة آلاف متر: فأين كان الفرق؟. وهل يمكننا تفسير الفرق الكبير بين أرقام الحقل (5) عن نضيرتها المدرجة في الحقل (4) من الجدول (4)، باعتبار أن كل أعمال التحشية تمت بطريقة التحشية التنازلية (Descending Stage Grouting)، مما اقتضى هذا الكم الكبير من إعادة الحفر؟.

كل هذه التساؤلات تقتضي الإجابة عليها لكي نتوصل إلى التقييم الصحيح للحالة التي كانت سائدة قبل توقف العمل في حزيران (2014)، ونعتقد أن تفاصيل الكميات المستخدمة في التحشية كافة قد سلمت لفريق فيلق المهندسين التابع للجيش الأمريكي في سنة (2015)، وليس قبل ذلك عند مباشرته بإعداد دراسة تقييمية لسد الموصل وأنجزت نهاية تلك السنة وبقيت نتائجها سرية أيضًا، إلا ما تم تسريبه منها والتي تمكنا من الحصول عليه وما سوف نفصله في الفصل العاشر.

إننا نعتقد جازمين، بأن فريق صيانة التحشية قد قام بعمله خير قيام خلال المدة من (1988) لغاية منتصف (2014) في ضوء ما أتيح له من قدرات إنتاجية، وإن تحسن وضعية وسائل الإنتاج التي تم توفيرها له بعد (2007) كان لها بلا شك الأثر في تحسين حالة الستارة. وزاد من استقرار الحالة، القرار المتخذ في سنة (2006) بتحديد المنسوب التشغيلي الأعلى للسد بمنسوب (319) بدلًا من منسوب (330).

كما لا نشك مطلقًا، بأن توقف الفريق عن العمل بعد حزيران (2014) كان له الآثار السيئة والخطيرة مما دعا فيلق المهندسين في الجيش الأمريكي للتدخل في سنة (2015) لتقييم الحالة ودق ناقوس الخطر بداية (2016) بقرب الانهيار الوشيك للسد، وبالتالي ما حصل بعد ذلك من مواصلة العمل في الصيانة بواسطة شركة تريفي الإيطالية التي تعاقدت مع الجهات العراقية لهذا الغرض.

وأخيرًا، نؤكد الحقيقة الواضحة التي أجمع عليها الجميع، وهي أنه لا بد من البحث عن حل جذري ونهائي للمشكلة حيث إن أعمال الصيانة هي لكسب الوقت فقط.

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press /سد الموصل /سحب ثالث

الهوامش

(1) **MWH Global Inc** is the unification of three major engineering firms: James M. Montgomery Consulting Engineers (JMM), Watson Hawksley, Ltd., and Harza Engineering Company. It is a global water and natural resources firm, providing technical engineering, construction services and consulting services. The firm has provided planning, design and construction management services for a wide range of water and natural resources projects around the world. The firm is headquartered in **Broomfield**, a suburb of the **Denver metropolitan area** in the **State of Colorado** of the **United States** with operations in 35 countries. As of May 2015, MWH Global had a global staff of approximately 7,000 employees including builders, **engineers**, **architects**, **geologists**, operators, project managers, business consultants, scientists, **technologists**, and regulatory experts. MWH is listed as the 15th-largest employee-owned company in America.

References / المصادر

[1] Swiss Consultants Consortium. "Security Measures II, Addendum 3. Flood Wave Studies. Task 2.Mosul Dam". Baghdad. Iraq.

[2] Energoprojekt. "Baddish Dam Project-Project 395. Volume 1, Summary Report". Beograd. December, 1988.

[3] Wheeler A. "Mosul Dam Assessment-Report on Site Visit". Baghdad. Iraq. September 2004.

[4] WII/BV.JV. "Mosul Dam Study-Final report-Task Order No.8". Baghdad. August 2005.

[5] MWH Mosul Dam Panel of Experts "Mosul Dam. Issues and Challenges. Report No3". Amman. May 2007.

[6] El Concorde LLC. Rizzo P C. Energoprojekt. Med Ingeneria JV. "Badush Dam Project. Analysis of Existing Works and Recommendetions. PhaseA". January 2009.

[7] El Concorde LLC. Rizzo P C. Energoprojekt. Med Ingeneria JV. "Badush Dam Project. Badush Dam Project. Vol.1, Hydraulic Design Verification. Phase B". May 2009.

[8] EDR Engineering Consultants, Team International. JV. "Badush Dam, Final Feasibility Study Report". October 2014.

[9] Luleå Technical University of Sweden. "Final Statement on Mosul Dam Workshop". Stockholm. 24-25 May.2016.

[10] Special Inspector General for Iraq Reconstruction. "Relief and Reconstruction Funded Work at Mosul Dam, Mosul, Iraq". SIGIR PA-07-105. October 29.2007.

[11] Panel of Expert." Mosul Dam Assessment: Second Report of Panel of Experts". April, 15. 2015.

[12] Kelly J R, Wakeley L D, Brondfoot S W, Pearson M L,McGrath C J. McGill T E, Jorgeson J D, Talbot C A. "Geological Setting of Mosul Dam and Its Engineering Implications". USACE, Engineer's and Development Center. September, 2007.

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press /سحب ثالث/ سد الموصل/

الفصل العاشر

دراسات سلامة سد الموصل

1 ـ المقدمة

إن الفوائد المتوخّاة من بناء السدود تتجاوز في الكثير من الأحيان مجرد توفير مياه الري وتوليد الطاقة الكهربائية إلى أمور أخرى قد لا تقل عنها أهمية، مثل توفير الوقاية من الفيضانات المدمرة، وبالتالي توفير الحماية للناس والممتلكات والبنى التحتية، وربما يكون هناك أيضًا فوائد أخرى عرضية مثل زيادة الثروة السمكية، وأحيانًا استغلال الخزانات للأغراض الترفيهية.

ويوجد النوع الآخر من السدود التي لا تمت بصلة إلى كل ما ذكرناه من فوائد، إلا أن لها أهمّيتها البالغة في حماية البيئة وسلامتها ألا وهي سدود التعدين (Tailing Dams) التي تقوم بتخزين مخلفات العمليات التعدينية لخامات المناجم، والتي كثيرًا ما تكون مخلفات سائلة محملة بالمواد السامة أو المضرة بالطبيعة تمهيدًا لمعالجتها.

تهدف السدود إذًا إلى خدمة المجتمعات البشرية بصورة عامة، غير أن المفارقة التي تكمن في إنشائها هي أنها تجلب معها القلق من احتمالات انهيارها والتسبب بخراب تلك المجتمعات نفسها.

ويزداد القلق من انهيار السدود كلما ازداد حجمها وعظم خزينها نظرًا لتزايد حجم الخسائر والدمار في مثل تلك الحالات. لذا، من الطبيعي أن يسعى المصممون والمنفذون عادة عند بناء أي سد إلى تحقيق أقصى درجات السلامة والأمان في تصاميمهم وتنفيذهم وتقليل احتمالات الانهيار إلى حدودها الدنيا. ولكننا نرى بأنه حتى مع اتخاذ أقصى الإجراءات وأشدها صرامة في هذا الصدد، فلا تزال هناك حالات من الفشل قد حصلت فعلًا في العديد من السدود سواء كان ذلك فشلًا جزئيًا وسبّب وضعًا خطيرًا وتطلب المعالجة السريعة، أو فشلًا تامًا انتهى بعدم صمود السد وانهياره التام مخلفًا الخسائر والدمار.

إن أدبيات السدود مليئة بالحوادث من هذين النوعين، وقد وثقت الهيئة الدولية للسدود الكبيرة (ICOLD) الكثير من تلك الحالات[1].

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press /سحب ثالث/ سد الموصل/

كما أن هناك العديد من السدود المهمة التي كثيرًا ما يرد ذكرها كحالات كلاسيكية في معرض مسببات ونتائج الانهيارات، ومثال على ذلك: سد مالباسِّيه (Dam Mallpasset) الخرساني المقوس في فرنسا الذي تم تنفيذه في سنة (1952) وانهار في سنة (1958) بسبب وجود فالق في كتفه الأيمن أدى تشبعه بالمياه إلى إزاحات في الأساس وانهيار السد نفسه، وقدرت الخسائر البشرية بين (432) إلى (500) نسمة، كما كانت هناك خسائر كبيرة جدًّا بالممتلكات والبنى التحتية.

وسد فايونت (Vajont) الخرساني المقوس أيضًا في إيطاليا، والذي تم إنشاؤه وملْء خزانه سنة (1960) فكان حدوث انهيار صخري إلى داخل الخزان من السفح الجبلي في المقدم، قد سبب موجة عاتية طفحت فوق قمة السد وانطلقت إلى مجرى النهر لتدمّر قريتين بالكامل وتجرف العديد من الأفراد العاملين في الوادي، مسببة (2500) من الوفيات وأضرار مادية هائلة، وكان ذلك في سنة (1963) وعلى الرغم من أن السد نفسه لم ينهر.

وهناك أمثلة أخرى من الولايات المتحدة، لعل أشهرها سد تيتون (Teton Dam) الركامي الذي نفذ على نهر سنايك (Snake River) في ولاية آيداهو (Idaho) وانهار سنة (1976) عند مَلْئِه الأولي بسبب جيولوجية الأسس وفشل المعالجات التي أجريت عند التنفيذ، مسببًا غرق (11) شخصًا. وأخيرًا وليس آخرًا، انهيار سد بولدر هل (Boulder Hill Dam) في الولايات المتحدة أيضًا سنة (1963).

إن ذكر هذه الأمثلة لم يكن إلا للتنويه ببعض حالات الانهيار ومسبباتها، أما سجل انهيارات السدود فهو حافل بعشرات لا بل بمئات الحالات الأخرى التي لا يتسع المجال للخوض فيها، كما أن قائمة أسباب الانهيارات قد تطول، وتشمل أمورًا: مثل الهزات الأرضية، عدم كفاية سعة المسيل، وحتى الأخطاء البشرية وغيرها. ونحيل القارئ الكريم للمزيد من المعلومات إلى مجموعة من المصادر في ذيل هذا الفصل - من المصدر[2] لغاية المصدر[6].

أما بالنسبة لحجم وبشاعة الكوارث التي سببتها بعض الانهيارات، فلعل انهيار سد بانكياو (Banqiao)[1] في الصين وما صاحبه من انهيار عدد آخر من السدود سنة (1975) هو أسوأ ما شهده العالم من كوارث السدود خلال الخمسين السنة الأخيرة. لقد سب انهيار هذا السد هلاك (171000) من البشر، ناهيك عن التدمير الشامل الذي نتج من الانهيار، وكانت أسباب الفشل ناتجة عن سوء التصميم أولًا، وأخطاء في التقديرات الهيدرولوجية للفيضانات المحتملة ثانيًا، كما أن ارتفاع

أعداد الضحايا نتج عن أخطاء بشرية في معالجة الأزمة. ونظرًا لضخامة الكارثة، فضلنا إدراج ذلك بشيء من التفصيل في الهامش (1) في ذيل هذا الفصل ولمن يرغب بالمزيد من تلك التفاصيل.

لقد توخينا من ذكر كل هذه الأمور، وبالخصوص حالات الفشل التي نوهنا عنها؛ إشارة إلى أن فشل هذه السدود قد حصل خلال النصف الثاني من القرن العشرين رغم التقدم الكبير الحاصل، سواء في أساليب التحري الجيولوجي، أو في الإنجازات الكبيرة في حقول الهيدرولوجي والهيدروليك وطرق وأساليب التحليلات الجيوتكنيكية وغيرها مما تتضمنه تصاميم السدود، مما لا يعطي المسؤولين عن بناء السدود العذر الكافي في حالات الفشل. إلا أن هذا الأمر يمكن أن يتكرر بسبب قرارات خاطئة أو ناقصة أو استنتاجات غير صحيحة، وقد تكون حالة سد الموصل واحدة من تلك الحالات التي نتجت عن سوء الفهم وقصر النظر وعدم التروي عند اتخاذ القرار النهائي بتنفيذ السد، وكما نفذ، حيث إن سبب المشاكل في سد الموصل هو عدم فهم جيولوجية المنطقة بصورة صحيحة.

ونود أن نضيف أيضًا، إلى أن موضوع سلامة السدود والتحديات التي تشكلها بالنسبة للناس جعلت الجهات المسؤولة في الكثير من دول العالم تقنن هذا الأمر وتضع الضوابط والخطوط الاسترشادية له. وقد صدرت العديد من القوانين والتعليمات في الولايات المتحدة وكذلك في بريطانيا والدول المتقدمة الأخرى وحتى النامية منها المهتمة ببناء السدود خلال الخمسين سنة الأخيرة فيما يشبه يقظة متأخرة للحد من تهديدات هذه المنشآت، سواء تلك الحديثة منها أو المتقادمة أو حتى تلك التي هي في طور الدراسات والتصاميم.

ومن المصادر المهمة في موضوع السلامة، نود أن نذكر دليل تقييم سلامة السدود القائمة (Safety Evaluation of Existing Dams-SEED)[7] الذي يُعنى بتدقيق وتقييم سلامة السدود المشيدة فعلًا واتخاذ الإجراءات الاحترازية وأعمال الصيانة المطلوبة لها من أجل رفع مستوى الأمان فيها. كما نذكر مصدرًا آخرًا يُعنى بالخطوط الاسترشادية للسلامة وذلك في طور التخطيط للسدود من أجل اتخاذ القرار والمصادقة على التنفيذ أو إجراء التغيرات، وهو المصدر[8].

مما تقدم نرى أن موضوع السلامة يجب أن يكون مركزيًّا في عملية اتخاذ القرار لبناء أي سد، وأن يكون في الصميم من عملية التنفيذ، وأن يهتم بالآثار المستقبلية التي ستترب على ذلك، كما يجب أن يمتد الاهتمام به إلى المراحل اللاحقة في

التشغيل والصيانة. وسوف نحاول في الفقرات التالية تتبع هذا الأمر منذ تبلور الفكرة لإنشاء سد الموصل وحتى الآن.

2 ـ الدراسات والتحريات للفترة (1950 ـ 1978)

تؤكد الخطوط الاسترشادية لسلامة السدود، بأن موضوع سلامة الأسس وصلاحيتها يجب أن يتم حسمهما قبل السير بأي خطوة أخرى في التصاميم، وأن ذلك يجب أن يتم من خلال القيام بتحريات جيولوجية للأسس وتحليل النتائج التي تتمخض عنها تلك التحريات، وتقترح أن يتم ذلك على مرحلتين الأولى استكشافية والثانية تفصيلية، وخاصة عندما يتعلق الأمر بالمفاضلة بين أكثر من محور مرشح للسد. ولو عدنا إلى دراسات سد الموصل خلال الفترة (1950 ـ 1978) أي منذ تكليف أول استشاري ـ وهو اتحاد الشركتين الاستشاريتين البريطانيتين (مونسل باسفورد أند بافري Munsell Bassford and Bafery)، وشركة (ألكسندر كب ومشاركوه Alxeander Gibbs and partners) ـ للقيام بدراسات وتصاميم سد كبير شمال مدينة الموصل لتوفير مياه الري لمنطقة الجزيرة العالية الخصوبة؛ نجد أن هذين الاستشاريَّين قدما تقريرهما سنة (1953) بعد القيام ببعض التحريات الجيولوجية والمفاضلة على أساس تلك التحريات بين محورين مرشحين للتوصل إلى المحور المنتخب قرب قرية (ضوء القمر) الواقعة (12) كيلومتر شمال منطقة (اسكي كلك). وتضمن التقرير تصميمًا أوليًّا للسد مع التوصية بالقيام بمزيد من التحريات الجيولوجية.

ويبدو من هذا التقرير بأن الاستشاريَّين لم يقيِّما موضوع وجود الصخور الجبسية ذات القابلية العالية للذوبان بصورة وافية، على الرغم من تأثير هذا الأمر بصورة مباشرة على سلامة السد، علمًا بأن وجود الطبقات الجبسية في الأسس مثبت من خلال المعرفة المسبقة بأن تكوين الفتحة (الفارس الأسفل) الحاوي على الصخور الجبسية والأنهايدرايت تسود في الموقع، كما ينتشر بصورة واسعة في المناطق شمال وجنوب مدينة الموصل كافة.

ولم تكن هذه الدراسة ولا التقرير الذي تمخضت عنه كافيين للسير بتنفيذ سد (اسكي موصل) كما كان يسمى في ذلك الحين.

قام مجلس الإعمار سنة (1957) بتوقيع عقد جديد مع شركة استشارية أمريكية هي (هرزا الهندسية) للقيام بإجراء تحريات جيولوجية تفصيلية وإعداد دراسة متكاملة تأخذ بعين الاعتبار نتائج ما تتوصل إليه شركة (كولجيان) الأمريكية المكلفة في ذلك

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/

الوقت بدراسات مشروع الجزيرة الإروائي. وأن تقدم الشركة المذكورة تصميمًا متكاملًا بعد تنفيذ ما يقتضي من تحريات جيولوجية تفصيلية. ومن خلال عمل هذه الشركة، فقد وجدت بأن الموقعين المدروسين من قبل الاستشاريين السابقين لا يوفران السلامة الكاملة للسد المقترح لسوء الحالة الجيولوجية في الموقع المنتخب بسبب وجود الصخور الجبسية والأنهايدرايت، وكذلك الصخور الطينية الضعيفة من المارل. وقد قدمت تقريرها مع التصاميم الأولية بمقترحين في سنة (1960)، وأكدت بشدة على إجراء معالجات التحشية في الأسس لعدم رصانتها.

ويمكن الاستنتاج هنا، بأن الشركة المذكورة لم تقيم الصعوبة في تحشية الطبقات الجبسية بصورة صحيحة وكما تبين فيما بعد، أو فشلت في تفسير الحالة الجيولوجية القائمة برمتها، خاصة حالة الكارست المتطورة في الأسس وطبيعة التتابع الطبقي فيها. ويمكن اعتبار الموضوع أيضًا فاشلًا في تحقيق متطلبات السلامة.

تطور أمر سد الموصل بعد ذلك باتجاه آخر، فقد قام العراق بعد ثورة (1958) بعقد اتفاقية للتعاون الفني والاقتصادي مع الاتحاد السوفيتي وبالتحديد سنة (1959)، وتضمنت الاتفاقية ملحقًا لتدقيق مشاريع الري والسدود الكبرى التي كانت تنتظر التنفيذ، وكان من ضمن المشاريع المشمولة مشروع سد الموصل، فعهد إلى مؤسسة تكنوبروم اكسبورت القيام بمراجعة للدراسات السابقة وتقديم مقترحاتها حولها، فقدمت المؤسسة المذكورة تقريرها سنة (1962) متضمنًا تصاميم أولية للسد بعد أن اختارت محورًا جديدًا يقع على مسافة (600) متر إلى الجنوب من المحور الذي اختارته شركة (هرزا).

لقد اتفقت كافة الدراسات السابقة على أن يكون السد من النوع الترابي الركامي، ولكن مع اختلافها في تحديد المحور النهائي، وبالتالي الاختلاف في تفاصيل المنشآت - مثل ارتفاع السد وحجم الخزان -. كما اتفقت الدراستان الأخيرتان على خطورة وجود الصخور الجبسية في الأسس، وتأكيدهما على القيام بأعمال التحشية فيها، وقد أوصتا بإجراء المزيد من التحريات الجيولوجية التفصيلية في الأسس للخروج بتصاميم نهائية قابلة للتنفيذ.

لذا، قامت وزارة الإصلاح الزراعي، الراعية للمشروع آنذاك باختيار شركة (ايمتران فويما) الفنلندية سنة (1965) من أجل إعداد دراسات وتصاميم جديدة للسد بعد إضافة مساحات جديدة للرقعة الزراعية في وسط وجنوب العراق وتأمين

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press /سحب ثالث/ سد الموصل

احتياجاتها المائية من خزان سد الموصل، بالإضافة إلى مشاريع الجزيرة التي كان من المؤمل أن يوفرها لها الماء من الخزان، كما اعتمدت أهدافًا جديدة للمشروع هي توليد الطاقة الكهربائية، ناهيك عن زيادة الحماية الفيضانية ليس لمدينة بغداد فحسب بل لمدينة الموصل أيضًا.

استمرت شركة ايمتران الفلندية بالدراسات والتحريات لسد الموصل واختارت الموقع الحالي الذي يبعد (60) كيلومتر عن مدينة الموصل والقريب أيضًا من قرية (ضوء القمر) والذي سبق أن تم تثبيته في الدراسة الأولى. كما وقّعت ملحقًا للعقد من أجل القيام بالمزيد من التحريات في سنة (1967)، فأنجزت تلك التحريات سنة (1968) وتم تقديم التقرير التخطيطي في نهاية تلك السنة.

عرض التقرير بعدئذٍ على مجلس خبراء عالمي شكلته مديرية الري العامة وتكون من خبراء من الولايات المتحدة وفرنسا والسويد للبت فيه، فأبدى المجلس ملاحظاته ولم تكن تلك الملاحظات كافة إيجابية مما اضطر الجانب العراقي للتعاقد مع شركة (جيوتيكنيكا) اليوغسلافية للقيام بالمزيد من التحريات الجيولوجية التي قدمت خلاصة عملها وتقريرها في سنة (1972).

تواصلت بعد ذلك جهود التدقيق من قبل المديرية العامة للسدود والخزانات التي استلمت ملف سد الموصل فعرضته على الجانب السوفيتي مرة أخرى، حيث قدمت مؤسسة تكنوبروم اكسبورت تقويمًا إضافيًا له في نهاية سنة (1973) وطلبت المزيد من التحريات في ضوء حالة الأسس المعقدة. كما عرض الموضوع برمته مرة أخرى على مجلس الخبراء آنف الذكر سنة (1974) والذي أبدى الكثير من الملاحظات، خاصةً تلك المتعلقة بالأسس. كما جرت محاولة لعرض المشروع على شركة (هوكتيف) الألمانية بقصد التنفيذ، فقدمت الشركة عرضًا متكاملًا في نفس السنة، إلا أن هذا الأمر لم يتبلور بصيغة عقد في حينه. وتواصلت التحريات الإضافية دون توقف من سنة (1974) لغاية سنة (1978) وكان آخرها التحريات المكثفة التي عهدت إلى شركة (سويلسيف) الفرنسية، وكانت هذه التحريات لا تزال جارية عند توقيع عقدٍ آخرًا لإعداد التقرير التخطيطي للسد والتصاميم النهائية ومستندات العقود لأغراض التنفيذ.

يمكننا القول، إن اتخاذ القرار بإنشاء السد قد اتخذ في وقت لم يكن قد تأكد فيه بصورة قاطعة وبما لا يقبل الشك من صلاحية الأسس، خاصةً في ضوء الشكوك التي لم تنجلي بعد بشأن الصخور الجبسية في الأسس وعدم إنجاز التحريات المكثفة التفصيلية.

لذا يمكننا أن نعتبر أن القرار جاء متسرعًا وقد نتج عن اتخاذه التضحية بأحد أهم شروط السلامة التي طالما أكدت وتؤكد عليها الخطوط الاسترشادية والدلائل العالمية لتصاميم السدود الكبيرة المماثلة لسد الموصل، خاصة لوقوعه في المقدم من مناطق ذات كثافة سكانية عالية وذات أهمية اقتصادية بالغة.

3 ـ الدراسات في الفترة (1979 ـ 1989)

بدأت هذه الدراسات حال قيام الاستشاريون السويسريون الذين وقع عليهم الاختيار بإعداد التقرير التخطيطي والتصاميم الأولية للسد، إضافةً إلى مستندات مقاولات التنفيذ، وطبيعي أن تكون تلك الدراسات كافة متوجهة نحو بلورة شكل السد وتفاصيله ومؤشرات تشغيله.

وقد اشتملت تلك الدراسات على الدراسات الجيولوجية والدراسات الزلزالية للموقع للتأكد من رصانة الأسس وإجراءات المعالجات إن تتطلب الأمر، كما تضمنت الدراسات الهيدرولوجية والهيدروليكية لتحديد مؤشرات الموارد المائية وتفاصيل المنشآت الهيدروليكية المختلفة، وحتى دراسات الاستقرارية للسد ومنشآته والتي ترتبط هي الأخرى بلا شك بالمؤشرات الجيولوجية والزلزالية.

أما الدراسة الجيولوجية، فإن الاستشاري ـ وكما هو متوقع ـ أخذ علمًا بنتائج التحريات الجيولوجية السابقة كافة وما بُني عليها من تصورات من قبل الاستشاريين المتعاقبين على دراسات السد سابقًا، وفي الوقت ذاته كان يتلقى نتائج تحريات شركة (سويلسيف) الجارية في ذلك الحين أول بأول. لذا قام الخبراء الجيولوجيون العاملون معه بتقييم تلك النتائج وإجراء مسوحات جيولوجية سطحية إضافية للموقع، وبالتالي الخروج بخرائط جيولوجية محدثة للظواهر الجيولوجية السطحية، وكذلك رسم ما يحتاج إليه من مقاطع جيولوجية للأسس وتحديد أعماق وخواص التركيبات الجيولوجية وتتابع الطبقات بدقة.

مما تقدم، بنى الاستشاري تصوراته عن معالجات الأسس المطلوبة وضمّنها في التقرير التخطيطي ومستندات عقود التنفيذ. ومن مراجعة الدراسة الجيولوجية التي تضمنها التقرير التخطيطي، يمكننا أن نرى بأن الاستشاري لم يكن مدركًا تمامًا لحالة الكارست المتطورة جدًا في الأسس، خاصة في مقطع النهر وكذلك لحالة التشظي والتشقق في الطبقات الكلسية وبالأخص في الجانب الأيسر. ولم يكن متوقعًا أبدًا سلوك طبقات الصخور الجبسية والأنهايدرايت المتحولة (Brecciated gypsum) في أساسات السد في مقطع النهر وفي رفضها ومقاومتها للتحشية، مما شهدناه لاحقًا عند التنفيذ.

وقد بدأت بعض التفاصيل المهمة بالظهور تدريجيًا بعد المباشرة بالتنفيذ، أي بعد تقديم التقرير التخطيطي وبعد مباشرة المقاول بالعمل. ومن تلك التفاصيل المهمة التي لم تكن متوفرة في دراسات التقرير التخطيطي: عمق منطقة الكارست في الأسس والتي لم تتحدد إلا بعد قيام المقاول الثانوي لأعمال التحشية (روديو - كيلر) بحفر الآبار الاستكشافية العميقة وإجراء فحوصات (لوجون) للنفاذية فيها. إضافة إلى ذلك، عدم وجود أسس تصميمية واضحة في البداية لستارة التحشية، ولم يتوصل الاستشاري إلى تلك الأسس إلا بعد إلحاح مجلس الخبراء العالمي للسد الذي طالبه بها وأن تكون تلك الأسس مناسبة لحالة الذوبان في الأسس. كما لم يتمكن من تخمين كميات أعمال التحشية عند إعداده التقرير التخطيطي بصورة دقيقة، مما حدى بمجلس الخبراء العالمي للتوصية بزيادة الكميات المثبتة في جداول الفئات والكميات في عقد التنفيذ، عند دراسته مسودة ذلك التقرير.

وعندما ننظر الآن إلى مجمل الحالة، لا نعلم فيما إذا كان قرار الاستشاري باستخدام ستارة التحشية تحت السد كمانع لتسرب مياه الرشح نابع من فهمه الخاطئ لحالة الأسس، أم كان مسايرًا في ذلك لمن سبقه من استشاريين عملوا في الدراسات السابقة وأوصوا بتنفيذ ستارة التحشية. ولماذا لم يدرك الاستشاري في وقت مبكر بأن الحل المتمثل بستارة التحشية لم يكن هو أفضل الحلول بعد أن تم تحديد مستوى الكارست في الأسس، أو على الأقل عندما فحص نماذج اللباب المستخرج من طبقات الصخور الجبسية المتشظية. وأخيرًا، هناك سؤالٌ منطقيٌّ يفرض نفسه: لماذا لم يتراجع الاستشاري عن حل الستارة العميقة وتنفيذ جدار قاطع أو ما يسمى بالستارة الموجبة (دايفرام) بدلها في مراحل التنفيذ الأولى، عندما كان بالإمكان تنفيذ الستارة القاطعة المذكورة من منسوب سطح الأرض في ضوء توفر التقنيات الكافية عالميًا لهذا الغرض؟

بطبيعة الحال، إن اتخاذ قرار جذري من هذا النوع كان سيكلف مبالغ أخرى، ويحتاج وقتًا إضافيًا على مدة التنفيذ، بحيث يؤدي إلى زيادة سنة أخرى على برنامج تحويل مجرى النهر، ولكنه كان سيحقق مستوى أعلى من درجات السلامة والأمان يتناسبان مع درجة الأمان المطلوبة لأهمية وخطورة سد الموصل ودون أن يكون هناك أي تهاون أو معالجات مستقبلية غير مضمونة.

إن الإجابة على هذه الأسئلة وربما المزيد منها، تصب جميعها في صلب تقييم مستوى (السلامة والأمان) التي وفرها الاستشاري في تصاميمه والمعتمدة أساسًا

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press /سحب ثالث/ سد الموصل/

على معلومات جيولوجية ناقصة أو غير مثبتة، ونعتقد جازمين أن تنفيذ السد لم يكن ليرخَّص في ضوء ما توفر من معلومات في ذلك الحين من قبل أي جهة مسؤولة عن (أمن وسلامة) السدود ابتداءًا لو كان هناك مثل هذه الجهة في العراق، كما هو الحال في الولايات المتحدة أو بريطانيا على سبيل المثال. ونرى على العكس من ذلك، فقد كان هناك حالة من الاندفاع الشديد من قبل الجهات المسؤولة وعلى أعلى المستويات لتنفيذ السد بأسرع وقت وبأقصر مدة ممكنة وذلك في ظروف ما سمي حينئذٍ (التنمية الانفجارية) في السبعينيات لصرف المبالغ الطائلة المتوفرة من تأميم النفط وتراكمها منذ منتصف ذلك العقد من القرن الماضي.

أما في معرض الدراسة الهيدرولوجية، فنرى أن الاستشاري لم يقصّر في تدقيق كافة المعلومات وقياسات الرصد الهيدرولوجية والتحقق من سلامة السجل الهيدرلوجي، وبالتالي إيجاد حجم الوارد المائي المضمون، إضافةً إلى عمله في إيجاد الفيضان التصميمي واختيار فترات العودة التي تناسب أهمية سد الموصل، وكما سبق شرحه في الفصل الثالث من هذا الكتاب.

ولا نغفل أيضًا قيام الاستشاري بحساب الفيضان الأقصى المحتمل الذي يمثل أقصى ما يمكن للطبيعة من إنتاجه كفيضان في أقسى الظروف الملائمة لذلك الحدث. وقام أيضًا بإجراء حسابات تسليك الفيضانات المحتملة جميعها من أجل احتساب طاقات تصريف المسيل والمنافذ السفلى وتحقيق التشغيل الأمين دون طفح الخزان فوق قمة السد، وحتى القيام بإضافة مسيل إضافي اضطراري لتمرير الفيضان الأقصى المحتمل دون انهيار السد، في حالة حصول عطل في عدد من بوابات المسيل الرئيسي.

إضافة إلى ما تقدم، فقد قام الاستشاري أيضًا بإعداد برنامج التشغيل السنوي للاستفادة القصوى من إطلاقات المياه.

ونعتقد من الاطلاع على هذه التفاصيل، بأن الدراسة الهيدرولوجية قد أجريت بأعلى درجة من الاحترافية وهي تحقق متطلبات السلامة والأمان التي تتطلبها المعايير العالمية، وخاصة في التشغيل السليم والحيلولة أيضًا في عدم حصول حالة طفح على قمة السد، مع العلم بأن النتائج جميعها مرهونة بالطبع بطول السجل الهيدرولوجي المتوفر آنذاك وبعدم حصول تغيرات جوهرية في مجرى النهر في مقدم السد.

إن هذا الأمر يجرنا إلى موضوع مهم آخر، وهو المدى الذي يمكن أن نتوقعه

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/

من التأثيرات المحتملة التي بدأت تحدثها حالة التغيير المناخي العالمي والجفاف المصاحب له في منطقة الشرق الأوسط على مؤشرات تشغيل سد الموصل، بالإضافة إلى مدى التأثيرات الحتمية التي بدأ يحدثها مشروع الكاب وإنشاء السدود على نهر دجلة في تركيا. ففي الوقت الذي أجريت فيه الدراسة الهيدرولوجية لسد الموصل كان هناك عدد قليل جدًّا من السدود الصغيرة على روافد النهر بحيث اعتبر الاستشاري بأنها ذات تأثير ضئيل على موارد النهر ولن تؤثر في مؤشرات التشغيل لسد الموصل. أما الآن وبعد ازدياد عدد تلك السدود وقرب تشغيل سد (ايلي صو) الكبير فإن الوضع قد اختلف تمامًا مما يتطلب إعادة نظر شاملة للدراسة المذكورة.

إن أي دراسة هيدرولوجية محدثة لسد الموصل، يجب أن لا تقتصر على تعديل المؤشرات التشغيلية وحالات تسليك الفيضانات المختلفة، بل يجب أن تؤكد أيضًا على الأخطار من احتمال انهيار أي سد من السدود في أعلى النهر وبالأخص سد (ايلي صو)، ومدى التهديد التي سوف ينشأ من ذلك على عموم مجرى نهر دجلة في مؤخره وعلى سلامة سد الموصل بالتحديد. لذا؛ فإن هذا الأمر المهم يتطلب التعاون مع الحكومة التركية للتوافق معها حول طريقة تشغيل (سد ايلي صو) أولًا، ودراسة الانهيار الافتراضي له والآثار المترتبة على ذلك ثانيًا. والتدقيق في أساليب تجنب الكارثة وطفح المياه فوق سد الموصل نفسه من أجل استعادة مستوى جيد للسلامة والأمان يساوي أو لا يقل عن المستوى الأصلي الذي كان عليه الحال عند إجراء دراسات سد الموصل الأصلية. أما الدراسة الافتراضية لانهيار سد الموصل نفسه بدون تأثيرات سد (ايلي صو) فسوف يتم بحثها في الفصل الحادي عشر من هذا الكتاب.

وفي بحث الدراسة الزلزالية للسد، قام الاستشاري السويسري بإجراء دراسة للزلزالية التاريخية للموقع، كما أجرى دراسة للزلزالية المحتملة واستخدم كافة ما تم تسجيله لدى عدد من مراصد الزلازل العالمية من تسجيلات الرصد لهزات أرضية وقعت وتركت بصماتها في موقع السد. واستفاد من تلك المعلومات كافة واستخدم نظرية الاحتمالات للوصول إلى تقدير المخاطر الزلزالية (Seismic Risk) في موقع السد.

إن مخرجات هذه الدراسة التي تدخل في حسابات الاستقرارية الزلزالية للسد (Seismic Stability) هما أمران مهمان:

الأول: هو التعجيل المصاحب للهزة الأرضية التصميمية المحتملة

(Probable Ground Acceleration-PGA) الذي يجب أن يتحمله السد ومنشآته دون وقوع أية أضرار فيه.

والثاني: هو تعجيل الهزة الأرضية المصاحب للهزة الأرضية القصوى المحتملة (Maximum Credible Earthquake) التي يمكن للسد أن يتحمله دون أن ينهار مع القبول ببعض الأضرار. وقد سبق أن وضحنا هذه الأمور كافة في الفقرة (5) من الفصل الثاني من هذا الكتاب، وبإمكان القارئ الكريم الرجوع إليها.

لا نشك بأن الاستشاري السويسري قد قام بدراسة استقرارية السد بصورة أولية بجانبيها الستاتيكي والزلزالي، وإن كنا لم نطّلع على تفاصيلها، وذلك عند إعداده للتصاميم الأولية، وبالتالي توصله إلى الخطوط العريضة للتصميم وكما وردت في التصميم الأولي الذي ضمّنه في مستندات العقد، وتم احتساب كميات الأعمال الترابية الواردة في جداول الكميات بموجبه. إلا أننا نعلم، بأن تلك الدراسة لم تكن كافية للمباشرة بتنفيذ السد، وأن تصاميم المقطع كانت تتطلب إعادة نظر في ضوء المعلومات التي بدأت تكشف عنها التحريات الجيولوجية الأخيرة، ونتائج الفحوصات الجديدة لنماذج صخور الأسس الجارية في ذلك الحين لاستخراج مقاومة القص (Shear Strength) وقيم التماسك (Cohesion)، سواء لصخور الأسس أو لنماذج المواد الإنشائية لجسم السد.

لهذا السبب، فقد طلب مجلس الخبراء العالمي من الاستشاري السويسري ـ ومنذ اجتماعه الثامن المنعقد في تشرين الأول من سنة (1981) ـ القيام بتحديث دراسات الاستقرارية والأخذ بعين الاعتبار مستجدات التحريات والفحوصات الجديدة، وقد كان محقًّا في ذلك، خاصة بعد اكتشاف عروق الطين الضعيفة في الأسس ـ التي سبق وأن تكلمنا عنها في الفقرة (4 ـ رابعًا. 4) من الفصل الثاني ـ في الجانب الأيمن. وأدى الأمر في النهاية إلى أن يفرض المجلس على الاستشاري السويسري تغيير طريقة التحليل من دراسة الانزلاق على سطح دائري (Slip Circle Method) إلى طريقة تحليل الانزلاق بشكل كتلة على سطح ضعيف (Wedge Analysis)، خاصةً وقد أعطت الطريقة الأولى معاملات أمان واطئة عند تحليل الاستقرارية تحت تأثير الهزات الأرضية.

وقدم الاستشاري السويسري الدراسات الجديدة التي حظيت بموافقة مجلس الخبراء العالمي بعد تعميق أساسات السد في الجانب الأيمن لإزالة عدد من تلك العروق، وكذلك زيادة ارتفاع أحمال القدمتين الأمامية والخلفية للسد (Toe Weights)، وبالتالي زيادة قيم معاملات الأمان.

ولم يكتف مجلس الخبراء العالمي بذلك، فقد طالب الاستشاريَّ السويسري ـ منذ الاجتماع التاسع الذي انعقد في شباط من سنة (1982) ـ بالقيام بدراسة الاستقرارية الديناميكية (Dynamic Analysis) للسد باعتماد الطيف الزلزالي للهزة التصميمية القصوى المحتملة (Maximum Credible Earthquake Accelerogramme)، وبعد دراسة خواص المنطقة الزلزالية وأخذها بنظر الاعتبار.

وللتعريف بالدراسة الديناميكية المشار إليها وتسمى أحيانًا بدراسة رد فعل التشوه (Deformation Response)، فهي: «الدراسة التي تتوخى استخراج حاصل جمع الإزاحات كافة المتوقعة في شريحة محددة من جسم السد أو الأساسات التي تحصل خلال البرهة الزمنية القصيرة عندما تتجاوز قوى الجاذبية وقوى الأحمال الأخرى مقاومة القص في تلك الشريحة عند حصول الهزة الأرضية». ويعتبر تقديم هذه الدراسة اليوم إحدى المتطلبات الرئيسية قبل الترخيص ببناء أي سد في الولايات المتحدة[9].

وفي الوقت الذي قدم الاستشاري دراسات جديدة لاستقرارية السد، لم ينْم إلى علمنا تقديمه الدراسة الديناميكية التي طالب بها الاستشاريَّ.

إن الدراسة الزلزالية لمنطقة السد والمخرجات التي تمخضت عنها تبدو دقيقة ومفصلة ما فيه الكفاية وكما شهد بذلك تقرير شركة بلاك أند ڤيتش التي راجعت الدراسة المذكورة سنة (2005) ــــــ، على الرغم من أن هذه الدراسة بينت ضرورة تحديث السجل الزلزالي المستعمل وإضافة الهزات الجديدة كافة التي تم تسجيلها خلال الفترة من سنة (1979) وهي سنة إعداد مسودة التقرير التخطيطي إلى سنة (2005) وهي سنة المراجعة من قبل السادة بلاك أند ڤيتش، وبالتالي ضرورة إعادة دراسة استقرارية السد لتدقيق الاستقرارية الزلزالية مرة أخرى.

لذا، يكون من الواجب إذا ما أردنا التحقق التام من سلامة السد واستقراريته الزلزالية في الوقت الحالي القيام بتحديث السجل الزلزالي لمنطقة سد الموصل للفترة من سنة (1979) لغاية الآن، وإضافة ما سجل من هزات أرضية كافة في الفترة المذكورة، وإعادة دراسة استقرارية السد الزلزالية مجددًا. هذه من ناحية. كما نرى ضرورة القيام الآن أيضًا بإجراء دراسة التحليل الديناميكية (Dynamic Analysis Study) التي لم تقدم أصلًا والتي تعتبرها الخطوط الاسترشادية لسلامة السدود من المتطلبات الأساسية للترخيص ببناء تلك السدود.

إن الدراسة الأخيرة الأساسية التي تضمنتها مرحلة إعداد التصاميم، كانت

الدراسات الهيدروليكية لمنشآت تصريف المياه وإطلاقها من الخزان خلال السد، حيث اعتمدت هذه التصاميم على دراسات تسليك الفيضان (Flood Routing). وقد قدم الاستشاري مخرجات هذه التصاميم بشكل الخرائط التي احتواها التقرير التخطيطي والتصاميم الأولية مع تفاصيل التصاريف التي يمكن إطلاقها من المسيل أو من المنفذين السفليين أو هدار المسيل الاضطراري. وقام الاستشاري السويسري ـ وكما هو معتاد في الحالات المشابهة ـ بتدقيق التصاميم على نماذج هيدروليكية تم تنفيذها في المختبرات الهيدروليكية في سويسرا، وقد تطرقنا لهذه الأمور تفصيليًا في الفصل الخامس.

ولا بد لنا أن نذكر في هذا المجال، أحد الأمور المهمة التي نعتقد قد تم إغفالها في مرحلة التصاميم؛ فعند إجراء فحوصات النموذج الهيدروليكي للمنافذ السفلى، بينت الفحوصات المذكورة بأن عمق النحر في حوض التسكين كان ليمتد إلى منسوب (214)، إلا أن الاستشاري ارتأى الحفر فقط إلى منسوب (226)، وحماية القعر عند هذا المنسوب بإضافة طبقة من الرولكريت بسمك (5) أمتار، وبالتالي رفع منسوب القعر إلى منسوب (231). غير أن إطلاق تصاريف عالية جدًا من المنفذين السفليين عند الملْء الأولي للخزان ـ بقصد السيطرة ورفع منسوب الخزان بصورة متدرجة ـ أدى إلى تدمير طبقة الرولكريت؛ مما دعا إلى إعادة ملْء الحفرة المتكونة بالخرسانة المصبوبة تحت الماء لمنع امتداد النحر إلى جانبي الحوض، وبالأخص من جهة المحطة الكهرومائية. ولم يقم الاستشاري السويسري ـ بدلًا عن ذلك بتعديل تصميم الحوض لتلافي مثل هذه الحالة ـ بجعل شكل الحوض أكثر انفتاحًا مثلًا لتلافي هذا النحر الجانبي.

وقد تكرر النحر في العمق وفي الجانب عند تشغيل المشروع عند إطلاق تصاريف عالية من المنفذين السفليين؛ مما دعا إدارة السد إلى تصميم وتنفيذ حماية تقوية لجوانب حوض التسكين. وكان آخر تطور سلبي وغير محسوب، هو اضطرار إدارة المشروع إلى الاعتماد على المنافذ السفلى بصورة متكررة عندما حدد مجلس الخبراء العالمي الأخير في سنة (2006) المنسوب التشغيلي الأعلى في منسوب (319)، وبالتالي ضرورة تخفيض المنسوب بصورة سريعة بعد الفيضانات، فتكررت هذه الحالة عدة مرات ولفترات طويلة. وأخيرًا، عندما اضطرت إدارة المشروع منذ سنة (2013) لتشغيل منفذ واحد لا غير خلافًا لتعليمات التشغيل والفرضيات التصميمية وفحوصات النموذج الهيدروليكي بسبب عطل جهاز الرفع للبوابة التنظيمية

للمنفذ الآخر، أدى هذا بالطبع إلى حصول نحر خطير جدًّا في جانب حوض التسكين، وأدى إلى القيام بأعمال ترميمية مستعجلة. وكان من واجب الاستشاري السويسري أن يتوقع حصول مثل هذا التشغيل الاضطراري لمنفذ واحد فقط وأن يحسب نتائجه وأن يتم فحص الحالة على النموذج الهيدروليكي نفسه، وأن يقرر الحلول التصميمية له سلفًا عند إعداد تصاميم المشروع.

ويمكننا في الخلاصة أن نقول: بأن دراسات مرحلة إعداد التقرير التخطيطي والتصاميم الأولية لم تخلو من السلبيات ـ وهي ما أشرنا إليها سابقًا ـ، وإن الإسراع بالدخول إلى مرحلة التنفيذ قبل حسم كافة علامات الاستفهام التي كانت تحيط بالوضعية الجيولوجية لأسس السد، بالإضافة إلى عدم القيام بدراسة الاستقرارية الديناميكية للسد نفسه، وأخيرًا عدم أخذ كافة الاحتمالات في تصاميم حوض التسكين للمنافذ السفلى وعدم الاستفادة الكاملة من النموذج الهيدروليكي لهذا الغرض، إن هذه الأمور كافة، كانت كافية لمنع إصدار الترخيص بالسير بالتنفيذ لو تطلب الأمر الحصول على مثل هذا الترخيص من جهة مسؤولة عن إقرار سلامة التصاميم، كما هو الحال في العديد من الدول المتقدمة.

إن السنوات المنصرمة منذ بداية التنفيذ لسد الموصل، كانت حافلة بالعديد من الآراء والدراسات. ولعل تقارير مجلس الخبراء العالمي للسد والذي شكله رب العمل لمتابعة أعمال التصاميم التفصيلية والتنفيذ، كانت من أهم ما كتب عن السد خلال تلك المرحلة. وكان المجلس يلتقي مرة كل ثلاثة أشهر ليناقش مع الاستشاري السويسري ـ وهو: المصمم، والمقاولين والمتخصصين الآخرين ـ تطورات العمل وتقديم الرأي في التغيرات والتحسينات المختلفة، فبلغ عدد تلك التقارير بحدود (34) تقريرًا.

ويمكننا أن نعتبر هذه التقارير من أهم المصادر عن سد الموصل في مرحلة إعداد التقرير التخطيطي والتنفيذ، وتغطي الفترة من سنة (1980) إلى سنة (1989)، وقد ضمت ـ إضافة إلى كتابات المجلس نفسه ـ تقارير ودراسات قدمت من قبل المقاول واستشاريين تعاقدوا مع المقاول وآخرين تعاقدوا مع رب العمل، بالإضافة إلى أساتذة جامعات أدلوا بدلوهم قدموا مقترحاتهم أيضًا.

ومن تلك الدراسات، نذكر مثلًا إحداها والتي تناولت تطوير تقنية التحشية، فقد دققت تلك الدراسة في نوعية الأعمال الجارية في تحشية الأسس وبالأخص ستارة التحشية في سنة (1986)[10]، وقدمت توصيات باستخدام هلام السيليكا

(Silica Gel) في تحشية الستارة في الجانب الأيسر التي عالجت طبقة الصخور الكلسية (F-Bed) المتشققة، وذلك كتحشية إضافية لغلق الشقوق الدقيقة جدًّا التي بقيت مفتوحة عند إجراء التحشية بالمزيج السمنتي.

وقد ركزت دراسة أخرى طرحت للبحث سنة (1987)[11]، على أسباب الاستهلاك العالي من مزيج التحشية السمنتي وإمكانية استخدام الحصى والرمل مع هذا المزيج في عدد من المناطق التي كانت تثير القلق. وقد سبق لنا وقدمنا معلومات وافية من هذه الدراسة في الفقرة (4) من الفصل الثامن، غير أننا هنا نعيد ذكر المزيد منها رغبة في المحافظة على وحدة الموضوع.

بينت الدراسة بأن تطور التكهفات وقنوات الذوبان كان يجري بسرعة كبيرة مما جعلها تطرح السؤال فيما إذا كانت معدلات الذوبان في طبقات الصخور الجبسية والأنهايدرايت تفوق معدلات تحشية تلك التكهفات والقنوات؟

وحاولت الدراسة الإجابة على هذا التساؤل بالقيام بتحليل نظري للتوسع الذي يحصل في ممر أنبوبي ضيق يخترق كتلة من الجبس، فتبين بأن الحجم المكافئ لهذا الممر يتناسب عكسيًّا مع مكعب قابلية ذوبان الصخور الجبسية (ويقصد بقابلية الذوبان هذه: الفرق بين تركيز أيون الكبريتات في المحلول في الأسس وتركيز المحلول عند حد الإشباع).

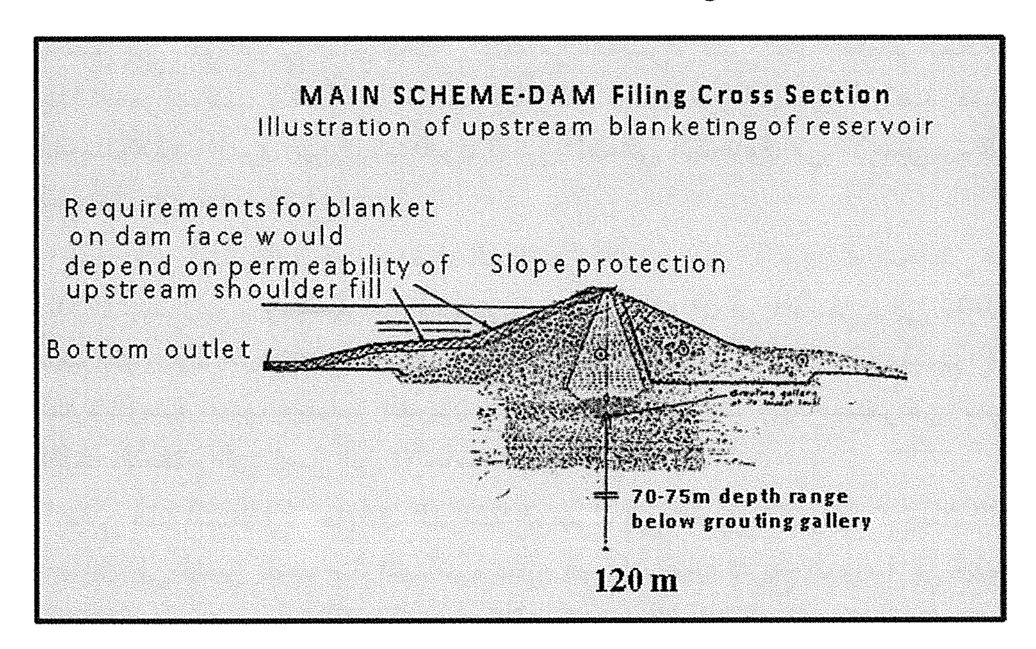
لذا، فلو قلنا بأن تركيز محلول المياه في الأسس من الكبريتات ينخفض من (750) ملغم/لتر ـ وهو التركيز المتوقع في مناطق الذوبان في الأسس ـ إلى (500) ملغم/لتر؛ فإن حجم ممر الذوبان سيزداد من (60) مليميتر إلى (300) مليميترًا في الفترة الزمنية نفسها ويستمر الذوبان طالما كان هناك دائمًا وارد مستمر من المياه القليلة الأملاح التي تصل إلى الأساسات من الخزان.

ومن هذا المنطلق، حاولت الدراسة الوصول إلى تخمين لكميات الذوبان التي حصلت في أسس السد منذ المباشرة بملْء الخزان لغاية تاريخ الدراسة في أيلول (1987)، فوجدت بأن تلك الكميات كانت كبيرة، إلَّا أنها لم تكن بدرجة تمنع من إنجاز المشروع. وتوسعت الدراسة بعد ذلك في تدقيق إمكانيات استعمال أنواع جديدة من مواد التحشية بدلًا عن المزيج السمنتي، ودرست عددًا، منها غير أنها خلصت إلى الاستنتاج بأن استعمال تلك البدائل لم يكن مجديًا، ورفضتها لأسباب فنية أو اقتصادية.

ومن أجل استنفاذ كافة الحلول، فقد تطرقت الدراسة بعد ذلك إلى بحث أية

حلول أخرى بدلًا من عملية التحشية الجارية ودققت في عدد من البدائل وكما يلي:

أولًا: تنفيذ بساط طيني أصم يغطي الجزء الأمامي من قاع الخزان والوجه الأمامي للسد ـ وكما هو مبين في الشكل رقم (1) ـ، حيث سيعمل هذا البساط على تخفيف الرشح إلى داخل الأسس ويخفض الضغط البيزومتري على الستارة. غير أن إنشاء مثل هذا البساط يتطلب تخفيض منسوب الخزان إلى منسوب القعر، وهذا الأمر لا يمكن القيام به من الناحية العملية. وقد يجادل البعض بالقول بإمكانية إسقاط عبوات البنتونايت بواسطة أنابيب، كما هو الحال عند صب الخرسانة تحت الماء وفرشها بطبقة سمكها متر واحد ثم فرش طبقة أخرى من الرمل فوقها لمنع حركة البنتونايت. والجواب على ذلك، بأن مثل هذه العملية لم يسبق القيام بها لتبطين قاع أي خزان بضخامة ما هو موجود في سد الموصل، وأن مثل هذا العمل قد تم بالفعل ولكن لتبطين بعض برك الري الصغيرة (Irrigation Ponds)، ليس إلا.



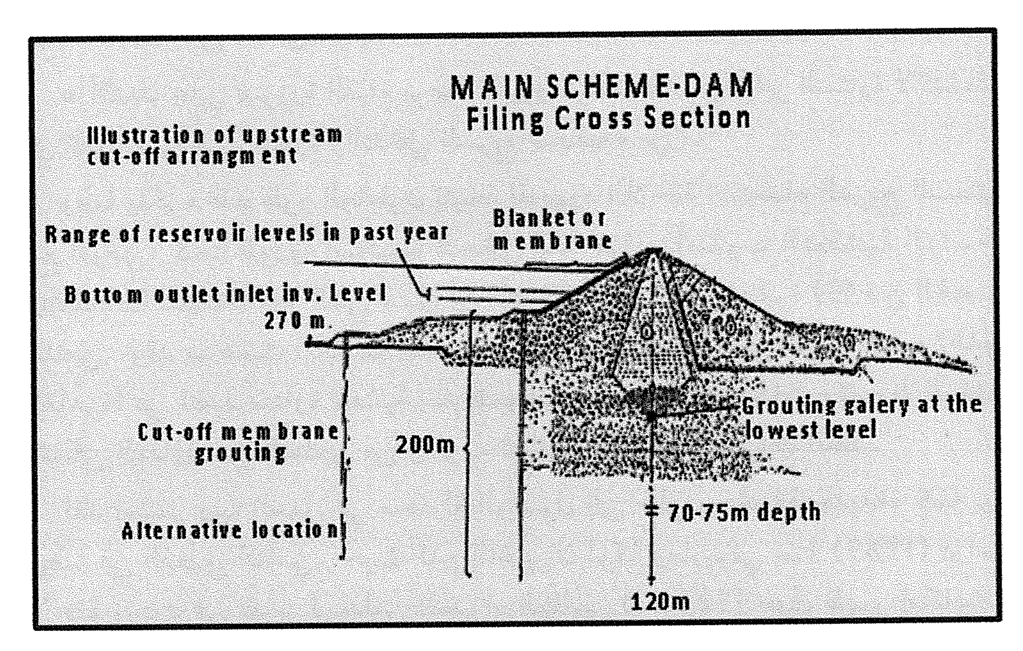
شكل 1: مقترح تبطين مقدم السد ببطانة الطين الصماء

ثانيًا: إنشاء ستارة موجبة قاطعة (حائط دايفرام حاجز)، حيث ينفذ الحائط المذكور من قمة القدمة الأمامية للسد وكما مبين في الشكل رقم (2). غير أن المشاكل التي تعترض تنفيذ مثل هذا الجدار تنبع من عمق الجدار المطلوب من جهة، وسلامة الحفر في التكوينات الصخرية الهشة وما يتخللها من كهوف

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/

وفراغات من الجهة الأخرى، ناهيك عن ضرورة المحافظة على الاستقامة الشاقولية للخندق المحفور، وبالتالي إبقاء صفائح الخرسانة المصبوبة متراصفة مع بعضها وعدم ترك أية فراغات بينها. وستكون عملية إنشاء الدايفرام المذكور لهذا العمق الكبير صعبة جدًا، ومحفوفة بالمخاطر، وذات تكاليف باهظة. كما يتطلب الحل هذا تخفيض منسوب الخزان إلى منسوب (270) تقريبًا.

ثالثًا: تنفيذ ستارة تحشية جديدة عوضًا عن الستارة الحالية وكخط دفاعي أمامي من مقدم السد وكما في الشكل رقم (2) أيضًا، وبافتراض أن الظروف الجيولوجية للأسس في المقدم هي أحسن حالًا من الظروف الجيولوجية تحت السد، وهو أمر غير منطقي وغير صحيح بالنظر لاستمرارية التكوينات والطبقات الصخارية في المنطقة كلها. إضافة إلى أن ذلك يتطلب تفريغ الخزن تمامًا، وهو أمر غير ممكن أيضًا.



شكل 2: يبيِّن الشكل مقترح إنشاء الدايفرام من قمة القدمة الأمامية
كما يبين أيضًا مقترح إنشاء ستارة التحشية الجديدة في مقدم السد

ومن الجدير بالذكر، فإن الدراسة تخلص إلى الاستنتاج بعدم جدوى هذه البدائل جميعها، وتضيف بأن الحل الوحيد يكمن في الاستمرار بأعمال ستارة التحشية الحالية ولكن بعد إجراء تحسينات وتغيرات على أساليب الحقن وأنواع المزيج، مع تنفيذ أعداد جديدة من البيزومترات للتحقق من حالة الستارة، خاصةً في مناطق

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press /سحب ثالث/ سد الموصل/

الصخور الجبسية والأنهايدرايت المتحولة (Brecciated gypsum) والتدخل الفوري وإجراء أعمال الحقن الإضافي عليها وصيانتها كلما اقتضى الأمر ذلك.

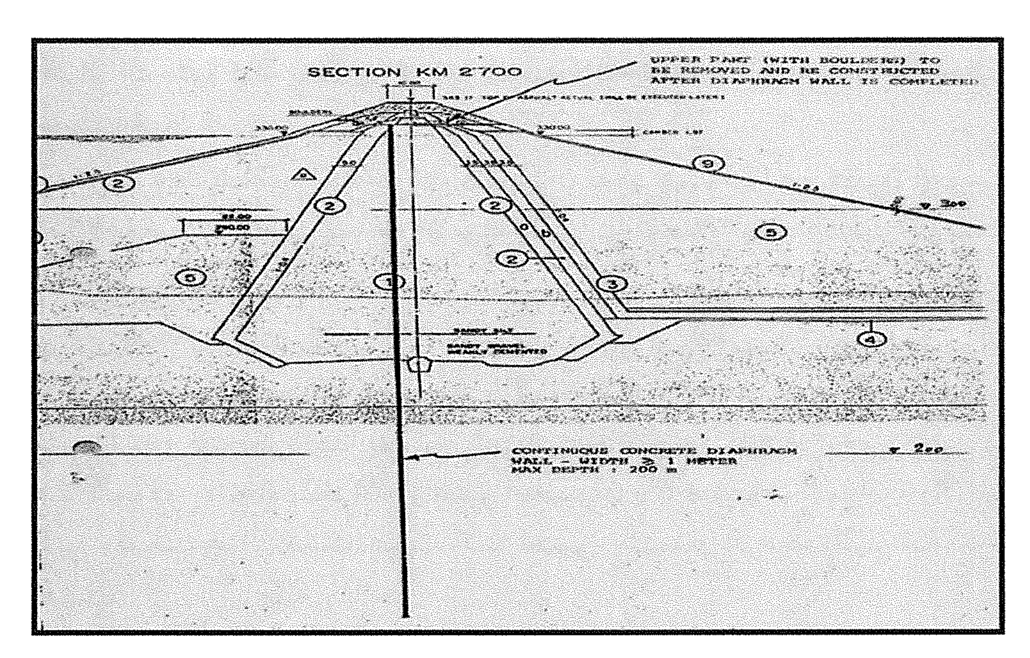
لقد أدت مناقشة هذه الدراسة إلى قيام مفهوم جديد يتلخص بأن أي ستارة تحشية سوف تتكون وافية بالغرض، حتى لو حصل فيها ذوبان، بشرط إمكانية الحفاظ على سلامتها بواسطة إجراء أعمال الصيانة الفعالة عليها في حالة إذا ما تعذر جعلها صماء وقليلة النفاذية ابتداءًا.

*** ومن هذا المنطلق فقد تمخضت الدراسة عن النتائج التالية:**

- أعطت الدراسة زخمًا جديدًا إلى برنامج تجارب قابلية التحشية (Groutability test program) الذي كان العاملون في التحشية قد باشروا به مؤخرًا للتوصل إلى أنواع جديدة من المزيج وأساليب جديدة للحقن.
- أدخلت لأول مرة مفهوم (صيانة ستارة التحشية) كحل دائم للمعالجة وضمانها لسلامة السد على المدى البعيد.
- أكدت على ضرورة القيام برصد البيزومترات مقدم ومؤخر الستارة لاكتشاف أي تطور سيئ في الستارة والتدخل السريع لمعالجته فورًا.

ومما يذكر، فقد طور العاملون نتيجة للجهود اللاحقة استخدام المزيج السمنتي مع الرمل، كما طوروا أساليب الحقن بما عرف بأسلوب التحشية الواسعة (Enlarged Grouting)، التي سبق لنا أن شرحناها في الفقرة (3) من الفصل الثامن. وقد ساهمت الدراسة هذه بدعم الأسباب الفنية التي تؤيد مفهوم (القوة القاهرة) في تنفيذ ستارة تحشية سد الموصل بموجب مواصفات وشروط العقد، وتمكن المقاول من التملص من وجوب تنفيذ الستارة وفقًا لشروط العقد.

لقد استمر رب العمل في محاولة الوصول إلى حلول مختلفة جديدة، كما بينا أيضًا في الفصل الثامن، حيث قدم الخبيران لوكا وماريوتي سنة (1989) دراسة لاحقة وردت في تقرير لمجلس الخبراء العالمي للسد[12] حول ظهور إمكانيات جديدة لتنفيذ الدايفرام بعد أن تم تطوير ماكنة جديدة تعمل بالحفر الدوراني ويمكنها الوصول إلى عمق (200) متر مما يجعل تنفيذ الدايفرام من قمة السد بعد إزالة الطبقة الفالقة أمرًا ممكنًا ودون تفريغ الخزان. وقد رُفض المقترح في حينه كونه جاء متأخرًا وذو كلفة باهظة، إلا أنه عاد للظهور لاحقًا عدة مرات وكلما بحث موضوع سلامة سد الموصل. وفي الشكل رقم (3) تفاصيل هذا المقترح وهو الشكل نفسه الذي ورد تحت رقم (5) في الفصل الثاني.



شكل 3: تفاصيل مقترح إنشاء الدايفرام من قمة السد

4 ـ الدراسات في الفترة (1990 ـ 2003)

في الوقت الذي استمرت فيه إدارة المشروع بإصدار تقارير سنوية تضمنت تسجيلات أجهزة التحسس وقراءات البيزومترات وكميات الرشح ومعلومات أخرى عن ظهور الخسفات الأرضية وإنفاق الذوبان وحتى التشقق الحاصل في الجانب الأيمن بالقرب من كتف السد، إلا أن الإدارة المذكورة لم تقم بأي دراسة منهجية لتقييم سلامة السد خلال تلك الفترة. ولم يكن بالإمكان دعوة أي شركة استشارية للقيام بالعمل المطلوب بسبب الحصار الاقتصادي الذي كان مفروضًا على العراق منذ سنة (1990). وعلى الرغم من أن دليل تقييم سلامة السدود القائمة (Safety Evaluation of Existing Dams)[7] يحتم القيام بهذا الأمر بصورة منتظمة مرة كل سنة حال إنجاز السد، ومن ثم مرة واحدة كل خمسة سنوات لاحقًا. واستمر الحال على ذلك لغاية سنة (1995)، فقد أمكن استقدام خبيرين بالسدود بعد القيام بترتيبات خاصة مع إحدى الشركات البلغارية المتخصصة، وأقام الخبيران في موقع السد لمدة شهرين قاموا خلالها بمراجعة ما قامت إدارة السد بتسجيله من قياسات الرصد وقراءات من معلومات أجهزة التحسس والبيزومترات وقياسات رصد تصاريف الرشح كافة، إضافةً إلى نتائج تحاليل نسب الأملاح في مياه الرشح التي استمرت إدارة السد على إجرائها. كما درسوا المعلومات التي توفرت عن

أعمال التحشية كافة بضمنها كميات الاستهلاك ومقاطع التحشية والأعماق التي حصلت فيها.

كانت حصيلة الدراسة أن قدم الخبيران تقريرهما[13] في كانون أول سنة (1995) ضمناه ملاحظاتهما مع الاستنتاجات التي توصلا إليها، وكذلك التوصيات الواجب اتخاذها.

ومن المفيد تلخيص هذه الملاحظات كما وردت في التقرير بما يلي:

• فيما يتعلق بالصدع في الجانب الأيمن الذي يقع على بعد (200) متر من كتف السد، فإن تكّون هذا الصدع يشير إلى أنه ناتج من انزلاق أرضي حصل في هذا الموقع باتجاه الخزان، واعتبر الخبيران بأن ترتيبات المراقبة والرصد التي وضعت هناك كانت جيدة. كما اعتبرا استمرار الرصد والمراقبة أمران حيويان.

• لاحظ الخبيران وجود عدد من السطوح المستوية المتخسفة التي تؤشر لظهور خسفات أرضية تحتها تقع على بعد (2 ـ 3) كيلومترات من الكتف الأيمن للسد. وقد أعرب الخبيران عن اعتقادهما بأن مثل هذه الخسفات تسهم في إمداد مياه الرشح تحت السد وذلك عند وصول مناسيب الخزن إلى مناسيب عالية. كما تم أيضًا استعراض تكون الخسفات وإنفاق الذوبان في حافة الخزان اليمنى خلال السنوات السابقة والتي لم يبد مجلس الخبراء العالمي رأيًا قاطعًا حولها.

• رأى الخبيران بأن عرض ستارة التحشية العميقة في مقطع النهر يمثل الحد الأدنى المقبول إذا ما تم تطبيق المواصفة الروسية المرقمة (CH-ИП 2.02.8) الجدول (7) الصادرة في (1988) والمواصفة البلغارية المرقمة (2.07.03) في (1985)، وأنه يتطلب زيادة هذا العرض في الأجزاء العميقة، لذا فقد أوصيا بتنفيذ صف إضافي من آبار التحشية المائلة في مؤخر ستارة التحشية الحالية لهذا الغرض.

• من معاينة تسجيلات رصد البيزومترات وتدقيقها، رأى الخبيران بأن (90%) من تلك البيزومترات كانت تعمل بصورة جيدة بينما المتبقي منها كانت تعطي نتائج مغلوطة مما يتطلب تنظيفها وغسلها وإعادة تأهيلها.

• بينت قراءات البيزومترات المنصوبة في رواق التحشية من المقطع (78) لغاية المقطع (94) وحسابات كفاءة الستارة في هذه المقاطع بموجب المعادلة المعتمدة لحسابات الكفاءة، بأن معدل قيم الكفاءات قد تراوحت في بعض المقاطع بين (65%) و(70%) في منسوب للخزان بلغ (328) مترًا، بينما لوحظ أيضًا تسجيل

بعض الكفاءات المنخفضة بمنسوب خزان لا يتجاوز (310) مترًا خلال السنتين (1987) و(1988). وقد استنتج التقرير، بأن الحالة العامة للستارة كانت جيدة إلا أن ما أغفله الخبيران هو أنه من غير الممكن تقييم حالة الستارة العامة بالاستناد على معدل الكفاءات لكافة المقاطع على طول الستارة، وإنما يتطلب الأمر النظر إلى كل مقطع على حدة، وخصوصًا بأن بعض الكفاءات تصل إلى (42%) قد تم تسجيلها في بعض المقاطع، كما أغفل التقرير حقيقة أن (43000) طن من مواد التحشية الصلبة كانت قد حقنت في الأسس خلال الفترة من (1989) لغاية (1995) وأن الحقن كان مستمرًا.

● بيَّن التقرير أيضًا بأن كميات الرشح وتراكيز الأملاح المذابة التي سجلت منذ سنة (1986) لغاية سنة (1995) أظهرت انخفاضًا واضحًا في نقطة القياس رقم (1)، وقد عزا التقرير السبب في ذلك إلى تنفيذ ستارة التحشية العميقة بموازاة قناة تصريف المسيل سنة (1990). أما في نقطة القياس رقم (3)، والتي تتجمع فيها مياه الرشح من تحت السد الثانوي فقد ازدادت التصاريف فيها خلال المدة نفسها من (75) لتر/ثانية إلى (140) لتر/ثانية، وازداد معدل تركيز الأملاح من (800) مليغرام/لتر إلى (1200) مليغرام/لتر. وقد فسر التقرير هذا الأمر بارتفاع منسوب الخزان خلال تلك السنوات والرشح المستمر من طبقة الـ (F-Bed) وما تحتها من طبقة (GB3)، ولم يلاحظ تغيرات تذكر بكميات الرشح أو تراكيز الأملاح المذابة في نقطة قياس التصاريف عند مدخل نفق الدخول إلى رواق التحشية.

● من تدقيق القراءات التي سجلتها أجهزة قياس الاستطالة (Extensometers) المزروعة في جسم السد وكذلك من القراءات الجيودسية المرصودة لرواقم المسح الدقيق على قمة السد، لم تظهر النتائج زيادات في الهبوط تفوق ما هو متوقع وأن القيم كافة كانت ضمن الحدود المقبولة.

أما بشأن الاستنتاجات والتوصيات، فقد توصل الخبيران إلى ما يلي:

● أن حالة السد بصورة عامة كانت جيدة، إلا أن منسوب الخزن يجب أن لا يتجاوز منسوب (330)، وإن حصل ذلك ففي الحالات الاضطرارية لا غير، ولفترة قصيرة.

● في الوقت الذي قلت فيه تصاريف الرشح وتراكيز الأملاح في نقطة القياس رقم (1)، إلا أن ذلك يعزى إلى تنفيذ الستارة العميقة بموازاة قناة تصريف المسيل،

أما في نقطتي القياس الأخيرتين فلم يحصل أي تناقص بل حصلت زيادة في إحداهما مما يدل بأن حالة الرشح والذوبان مستمرة.

- إن تحليل قياسات أجهزة قياس الاستطالة وخلايا الضغط المسامي وقياسات رصد المسح الجيودسي الدقيق، تبين بأن جميعها كانت مقبولة.
- ضرورة زيادة عرض ستارة التحشية بإضافة صف جديد من آبار التحشية كما سبق بيانه. أما تنفيذ ستارة موجبة أو جدار قاطع (دايفرام) حسب مقترح الخبير ماريوتي فغير مقبول.
- يجب الاستمرار ببرنامج الصيانة لستارة التحشية الذي بوشر به سنة (1990) (الصحيح: 1988)، وقد يكون هناك حاجة للاستمرار بذلك طوال العمر التشغيلي للسد.
- ضرورة تنفيذ المزيد من البيزومترات على مسافة قدرها (2000) متر في قشرة السد الخلفية على طول السد من أجل مراقبة الرشح تحت السد نفسه.
- ضرورة القيام بإجراء دراسة جديدة لتدقيق استقرارية السد الستاتيكية والديناميكية وأخذ المعلومات المحدّثة من مناسيب المياه ومعدلات تصاريف الرشح والإزاحات العمودية وقياسات الضغط المسامي في اللب كلها بنظر الاعتبار.

ويبدو من نتائج تقييم سلامة السد واستنتاجات الخبيرين، بأن السد كان بحالة جيدة بعد سبعة سنوات من ملْء الخزان إلى المنسوب التشغيلي الاعتيادي البالغ (330) على الرغم من وجود ملاحظات تقتضي من المشرفين على إدارته الحيطة والحذر والعمل المتواصل. وقد كان هذا أول تقييم حقيقي لسلامة السد خلال هذه الفترة.

لم تجر في السنوات اللاحقة أية محاولات للتقييم أو التدقيق في درجة سلامة السد، وإنما كان هناك تقارير سنوية تصدرها إدارة المشروع كالتي كانت تصدرها سابقًا متضمنة خلاصات القياسات المسجلة لرصد للمتغيرات المذكورة من دون محاولة لتفسير تلك التسجيلات وقراءات الرصد أو تحليلها للاستنتاج عن مدى سلامة السد كما هو متعارف عليه. ولم يتم إجراء دراسات جديدة لتحليل الاستقرارية في ضوء تلك القياسات كما لم يتم تنفيذ البيزومترات المقترحة في الدراسة بصورة منهجية، وإنما جرى تنفيذ البعض منها هنا وهناك وحسب ما كانت إدارة المشروع تراه مناسبًا.

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press /سحب ثالث/ سد الموصل/

5 ـ الدراسات في الفترة (2004 ـ 2014)

انقضت على دراسة تقييم سلامة السد التي قام بها الخبيران البلغاريان عدة سنوات لم يتم فيها أي دراسة تقويمية جديدة، وامتد ذلك لغاية سنة (2004)، حيث جرت حينئذٍ دراسة جديدة بمبادرة من فيلق المهندسين في الجيش الأمريكي (USACE). فقد احتلت قوات التحالف بقيادة الولايات المتحدة العراق في نيسان من سنة (2003) وقام فريق من مهندسي الفيلق المذكور بزيارة تفقدية لسلامة السد في صيف تلك السنة ومعرفة مدى الأخطار التي قد يسببها السد على قواتهم المنتشرة في حوض نهر دجلة مؤخر السد. وكان الاستنتاج الذي خرجوا به من تلك الزيارة ومن زياراتهم اللاحقة، هو أن السد كان يعاني من مشاكل حقيقية وأن سلامته بحاجة ماسة إلى مراجعة مفصلة.

لذا، فقد نجم عن ذلك سنة (2004) توقيع عقد بين دائرة عقود المشاريع في سلطة التحالف المؤقتة واتحاد من شركتين أمريكيتين من أجل القيام بمراجعة عامة لسلامة السد. وكانت الشركتان هما واشنطن كروب انترناشنال وبلاك أند ڤيتش.

وتضمن العقد الأعمال التالية:

ـ جمع المعلومات المتوفرة عن سد الموصل كافة، بضمنها كل التصاميم والدراسات والتقارير ذات العلاقة.

ـ مراجعة وتحليل هذه المعلومات.

ـ القيام بعدد من الزيارات الموقعية وعقد الاجتماعات مع إدارة السد وموظفي الوزارة المسؤولين عن السد وبحث كافة المشاكل الراهنة.

ـ تأليف لجنة من خبراء السدود من أجل مناقشة ودراسة الموضوع من جوانبه كافة والخروج بتوصيات محددة من أجل تحسين حالة السد وزيادة عامل السلامة والأمان فيه.

وقد أنجزت هذه الأعمال كافة، وقدم اتحاد الشركتين تقريرهما في آب سنة (2005)[14].

وتضمن التقرير ما يلي:

• خلاصة بتقارير الزيارات الموقعية التي قام بها خبراء الشركتين والاجتماعات التي تم عقدها من أجل تحديد الإطار العام للمشكلة.

• خلاصة التقرير الأولي المؤرخ في الأول من نيسان (2005) الذي أعدته لجنة الخبراء عن مشاكل سد الموصل، وبالخصوص تقييم حالة السد وأعمال التحشية

والبدائل المتاحة والذي عرض في اجتماع موسع عقد في مدينة سنسناتي في ولاية أوهايو الأمريكية في نيسان (2005) وضم ممثلين من الشركتين ومن فيلق المهندسين في الجيش الأمريكي ومكتب الاستصلاح الفدرالي الأمريكي بالإضافة إلى ممثلي الجانب العراقي من إدارة السد ومن المديرية العامة للسدود والخزانات. وقد سبق ذلك اجتماعان أوليان للجنة الخبراء والمشاركين الآخرين كافة لمناقشة المعلومات المتوفرة آنذاك عُقِدَ في عمان في الربع الأخير من سنة (2004) (وقد حضر المؤلف الأول هذه الاجتماعات جميعها).

- دراسة تفاصيل أعمال تحشية الصيانة الجارية ومدى الفائدة منها وكيفية تطويرها، إضافة إلى دراسة البدائل الدائمة، مثل: تنفيذ ستارة موجبة قاطعة (دايفرام) وتنفيذ سد بادوش وتقييم جدوى كل من هذه البدائل.
- دراسة مشكلة النحر في حوض التسكين لمخارج المنفذين السفليين.
- مراجعة لدراسة زلزالية سد الموصل التي سبق القيام بها من قبل الاستشاريين السويسريين وبيان الرأي بمدى كفايتها.
- مراجعة لدراسة الانهيار الافتراضي وموجة الفيضان الناجمة عن ذلك والتي سبق أن أعدها الاستشاريون السويسريون سنة (1984) وبيان الرأي حولها.
- دراسة تحليلية لسيناريوهات انهيار سد الموصل وهو ما يعرف (بتحليل أشكال الانهيار المحتملة Potential Failure Mode Analysis).
- استنتاجات وتوصيات لجنة الخبراء النهائية.

في الوقت الذي نرى بأن الدراسات كافة التي تمت من قبل الشركتين قد أنجزت بصورة سليمة وبدرجة عالية من الحرفية، إلا أن أهم تلك الدراسات كان ما يتعلق بأعمال تحشية الستارة والبدائل المطلوبة لحماية السد من الانهيار، وسوف يرد لاحقًا ما تضمنته توصيات لجنة الخبراء بصددها. كما أن دراسة سيناريوهات انهيار سد الموصل كشفت عن أكثر حالات الانهيار احتمالًا في ضوء وضعية سد الموصل ومسببات مثل هذا الانهيار. وقد قام بهذه الدراسة فريق متخصص تم تكليفه من قبل الشركتين وتألف من أعضاء من الهيئة الفيدرالية التنظيمية للطاقة الأمريكية (U.S. Federal Energy Regulatory Commission-FERC) وخبراء من مؤسسة (URS Corporation) للمشاريع الاستراتيجية الأمريكية، إضافة إلى مهندسين آخرين من الشركتين وبرئاسة البروفسور المتقاعد من جامعة إيلينوي الدكتور سكب هندرون (Skip Hendron). وتوصل هذا الفريق في ضوء نتائج التحليل، إلى وجود ثلاثة

عشر سيناريو لفشل سد الموصل، وقد صنفت الدراسة هذه السيناريوهات في ثلاث مجموعات حسب درجة خطورتها واحتمالية وقوعها.

يبين الجدول رقم (1) تفاصيل السيناريوهات الأسوأ والأكثر احتمالية في الوقوع. أما السيناريوهات العشرة المتبقية، فقد كانت حسب رأي الفريق إما سيناريوهات ممكنة لكنها لن تسبب في انهيار السد، أو أن تكون احتمالات حصولها ضئيلة للغاية بحيث يمكن اعتبارها غير ممكنة الحصول.

جدول 1: خلاصة سيناريوهات انهيار سد الموصل الأكثر احتمالاً[15]

Failure Mode No.	Description	Category	Basis For Category Assignment
N1	Usual Loading – Shallow Foundation Seepage in the Main Valley	1	Judged to be possible, and also judged able to develop with limited or no warning of development
N2	Usual Loading – Intermediate Foundation Seepage in the Main Valley	1	Judged to be possible, and also judged able to develop with limited or no warning of development
N3	Usual Loading – Deep Foundation Seepage in the Main Valley	1	I Judged to be possible, and also judged able to develop with limited or no warning of development

من تفاصيل الجدول وما توصل إليه الخبراء، يلاحظ بأن سيناريوهات الفشل الخطرة ترتبط جميعها بالظروف الجيولوجية للأسس ويمكن أن تحصل بسبب تطور الذوبان فيها وتكوّن تكهفات وفراغات في إحدى طبقات الصخور الجبسية (GB) المتحولة الموجودة في أعماق الأسس المختلفة في مجرى النهر الأصلي، وبالتالي حصول حالة من الانجراف الداخلي (Piping)، أو حصول تهدم في طبقات الأسس وهبوط السد وظهور تشققات في أسفله.

أما العوامل المساعدة لحصول أحد هذه السيناريوهات فهي:

- وجود طبقات الصخور الجبسية والأنهايدرايت المتحولة (GB1, GB2, GB3) أو حتى (GB0) الأكثر عمقًا.

- عدم تنفيذ أية أعمال تحشية لأسس السد تحت القشرة الأمامية والقشرة الخلفية للسد سابقًا، إضافةً إلى الشكوك حول مدى كفاءة تحشية البساط تحت اللب الأصم بعد كل هذه السنين، حيث لم تجر أي أعمال لتدقيقها.

- وجود فرص لتطور خسفات أرضية تحت قشرة السد الأمامية أو الخلفية ودون وجود إمكانية للإنذار المبكر بحصولها.

وختم فريق الدراسة تقريره بعدد من الاستنتاجات يمكن تلخيصها بما يلي:

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/

• أن تنفيذ سد بادوش الواقع بين موقع سد الموصل ومدينة الموصل يمكن أن يوفر الحماية الكاملة ويمنع مخاطر الخسائر بالأرواح في كافة سيناريوهات الفشل لسد الموصل.

• أن تنفيذ جدار قاطع ـ أو ما يعرف بالدايفرام ـ من قمة السد باستخدام التقنيات السائدة الآن هو حل غير مجرب سابقًا، ولهذا السبب لا يمكن الركون إليه للتقليل من مخاطر الخسائر البشرية بدرجة كافية بالنظر لحجم تلك المخاطر الناجمة عن الكثافة السكانية العالية في مؤخر سد الموصل.

• أن تنفيذ جدار قاطع في مقدم السد مع بطانة صماء قد يقلل من مخاطر الخسائر البشرية بدرجة كافية إلا أن هذا الحل يتطلب تخفيض منسوب الخزان، إضافة إلى أن الكلفة الكلية لهذا الحل سوف تكون أعلى من كلفة تنفيذ سد بادوش.

• لا توفر أعمال التحشية درجة مقبولة من الحماية تجاه مخاطر الخسائر البشرية على المدى البعيد بالنظر للكثافة السكانية العالية في المؤخر.

• أن الاستمرار بالتحشية المحسنة للأسس مع المراقبة والتفتيش الدقيقين، يوفران درجة معقولة من تخفيف المخاطر مع إطالة العمر الاقتصادي للسد ولأطول مدة ممكنة.

وبالخلاصة، فقد تضمن التقرير النهائي ـ المقدم من قبل الشركتين ـ الاستنتاجات والتوصيات كافة التي ذهبت إليها لجنة الخبراء مع تفاصيل دراسة سيناريوهات الفشل لسد الموصل (PFMA)، بالإضافة إلى تقديم نتائج تدقيق الدراسة الزلزالية التي قام بها الاستشاريون للسويسريون وأوصى بتحديثها. وقيّم التقرير أيضًا، دراسة انهيار السد الافتراضية وحدوث الموجة الفيضانية التي قام بها الاستشاريون السويسريون سنة (1984 ـ 1985) واعتبرها تلبي متطلبات مثل هذه الدراسة لو أنها أجريت سنة (2005)، وسوف نقوم بتفصيل هذا الموضوع في الفصل الحادي عشر.

أما فيما يخص النحر في حوض تسكين مخرج المنفذين السفليين، فقد اقترحت لجنة الخبراء التي ألفتها الشركتان دراسة حمية حافة الحوض من جهة قدمة السد واستخدام ركائز حديدية نوع (H-piles). إلا أن هذا المقترح تمت دراسته مجددًا من قبل خبير متخصص بالمنشآت الهيدرليكية تعاقدت معه الشركتان هو الخبير (P. Mason) الذي استنتج عدم الحاجة الآنية لذلك مع احتمال الحاجة المستقبلية للحل المذكور.

لقد كانت الدراسة التي قامت بها الشركتان من أكثر دراسات السلامة التي جرت لسد الموصل عمقًا وتفصيلًا لغاية ذلك التاريخ، وربما إلى الآن. وقد خلصت إلى أن السد في وقتها كان لا يتمتع بدرجة السلامة والأمان الذين يتطلبهما سد بحجم سد الموصل، وأوصت بالعديد من الإجراءات المستقبلية لرفع مستوى الأمان وتقليل المخاطر التي يشكلها على الأرواح والممتلكات.

وقد اتضح من الدراسة المذكورة، ضرورة الاستمرار بأعمال التحشية كأعمال لإطالة عمر السد الاقتصادي ودعم تلك الأعمال بالمزيد من المعدات وكما بينا في الفصل التاسع، إلا أنها أكّدت بأنها لن تقود إلى حل دائم ونهائي يكفل سلامة السد وسلامة حوض النهر في المؤخر. وإن الحل الدائم المتمثل بتنفيذ سد بادوش هو ما يكفل تحقيق السلامة الكاملة المطلوبة لحوض النهر، وإن كان لا يفيد سد الموصل نفسه بشيء بعد التأكد من جيولوجية المنطقة.

واستمر اهتمام فيلق المهندسين في الجيش الأمريكي بموضوع سلامة سد الموصل، وتوصل في نهاية سنة (2006) إلى أن المخاطر التي تحيط بسد الموصل لا يمكن السكوت عنها. وعبّرت السفارة الأمريكية في بغداد عن قلقها البالغ من حالة سلامة سد الموصل وذلك برسالة بعثتها إلى دولة السيد رئيس الوزراء العراقي بتاريخ الثالث من أيار (2007). وبينت الرسالة ـ وكانت بتوقيع سعادة السفير الأمريكي في العراق رايان كروكر وقائد القوات الأمريكية في العراق دافيد بيترايوس ـ، بأن السد كان يمثل حالة من الخطر غير المقبول وأن حالته لا تدعو إلى الاطمئنان وهو مهدد بالانهيار. لذا أوصت الرسالة بضرورة إخلاء حوض النهر من كافة الأعمال المهمة، وحذرت من أن المواطنين الساكنين في الحوض كانوا هم أيضًا معرضين لدرجة الخطورة نفسها. وحثت الرسالة الحكومة العراقية على إبقاء المنسوب التشغيلي الأعلى للسد بحدود (319)، والاستمرار بأعمال تحشية الصيانة دون أي توقف والاستمرار أيضًا بأعمال التحريات.

ولعل من أهم التوصيات الأخرى التي وردت في الرسالة، هي تطوير منظومة للإنذار المبكر في حالة انهيار سد الموصل، وضع خطة للإخلاء والإنقاذ بالنسبة للتجمعات السكانية القاطنة في الحوض الفيضاني، وأن يكون ذلك في إطار خطة طوارئ يتم تنسيقها مع كافة مؤسسات الدولة المعنية ومع إدارة السد.

ولم تغفل الرسالة موضوعًا آخر ذا أهمية كبيرة، وهو الاستمرار بتطوير حل دائم لسد الموصل بأن أكدت على وزارة الموارد المائية لإنجاز المراجعة الهندسية التي

بدأتها الوزارة لسد بادوش المنفذ جزئيًا والذي كان بحسب ما بينته السفارة: «هو السد الذي لو أنجز، سيعمل على دعم السلامة في حالة انهيار سد الموصل». أما المنسوب التشغيلي الأعلى الجديد البالغ (319) الذي حددته الرسالة، فقد ورد في تقرير للجنة خبراء شكلتها وزارة الموارد المائية وأصدرت تقريرها في الربع الأول من سنة (2006) وكما سيتم تفصيله في أدناه.

ففي الاستمرار بنهج القيام بمزيد من الدراسات لتقييم الحال في سد الموصل، كانت وزارة الموارد المائية قد شكلت لجنة خبراء جديدة في بداية سنة (2006) كلفتها بالقيام بدراسة محدثة لتقييم حالة سد الموصل ودرجة السلامة التي تتوفر بها. وتشكلت اللجنة من خبراء من شركة هرزا الهندسية الأمريكية التي كانت قد أصبحت جزءًا من مؤسسة استشارية أكبر هي مؤسسة (MWH)، مع إضافة خبير آخر من إحدى الجامعات الكبرى الإيطالية، وتدارست لجنة الخبراء هذه في عدد من الاجتماعات التي عقدتها في عمان واستضافت فيها ممثلي وزارة الموارد المائية وممثلين من إدارة المشروع كافة مشاكل السد وأهمها مشكلة الذوبان في الأسس والقلق المتزايد من ظهور خسفات أرضية جديدة على غرار الخسفات التي تطورت في التسعينات وكذلك في سنة (2002) و(2005)، وأوضحت اللجنة أسباب القلق وأبدت رأيها بالأمور الأخرى ذات العلاقة في تقرير (2002) و(2005)، وأوضحت اللجنة أسباب القلق وأبدت رأيها بالأمور الأخرى ذات العلاقة في تقرير اجتماعها الأول الذي عقد في بداية (2006)[16].

تضمن التقرير المذكور توصيات بزيادة عدد البيزومترات في مؤخر السد والقيام بإجراء مسح جيوفيزيائي راداري باستخدام جهاز (الجيو ـ رادار) في الجانب الأيسر للحصول على المزيد من الفهم لحركة مياه الرشح في هذا الجانب والتنبوء بإمكانية حصول خسفات خطيرة قريبة من جسم السد، وأضيف هذا المسح إلى المسح الجيوفيزيائي الذي كانت فرقة من هيئة المسح الجيولوجي الراقية تقوم به بالطرق الاعتيادية في الوقت نفسه.

وقد نفذت وزارة الموارد المائية توصيات اللجنة، فقامت باستيراد جهاز (جيو ـ رادار) مع كافة ملحقاته، وتم تدريب عدد من الجيولوجين العاملين في السد على استعماله للقيام بالمسح الموقعي على أن يتم تحليل المخرجات في إيطاليا، كما جرى حفر عدد من آبار التحري الجيولوجي الضرورية لإنجاز المسح المطلوب. وفي التقرير نفسه، خرجت اللجنة بتوصية كان لها أثر مستقبلي كبير للغاية على

تشغيل السد، حيث أوصت بأن يكون أعلى منسوب للتشغيل الاعتيادي هو منسوب (319) بدلًا من المنسوب الأعلى التشغيلي بموجب التصاميم البالغ منسوب (330)، وهي التوصية التي تبنتها رسالة السفارة الأمريكية إلى دولة رئيس الوزراء العراقي التي ورد ذكرها سابقًا، وكان الهدف من هذه التوصية تخفيف الحمل الهيدروليكي على أساسات السد من أجل التقليل من حدة وسرعة الذوبان في الأسس من جهة، وتقليل احتمالات ظهور خسفات جديدة من جهة أخرى.

يلاحظ بأن وزارة الموارد المائية قد التزمت بالتشغيل وفقًا لتوصية اللجنة، وسارت عليه طوال المدة اللاحقة وحتى اليوم. وعقدت اللجنة اجتماعين لاحقين في فترتين متتاليتين في عمان أيضًا بحضور ممثلي الوزارة وإدارة المشروع، وكان آخر هذين الاجتماعين في أيار (2007). وعبرت اللجنة مرة أخرى في تقريرها الأخير عن القلق من موضوع تطور الخسفات الأرضية، خاصة في ضوء الكميات الكبيرة والمتصاعدة من المواد الإملائية التي استخدمت عند ملْء الخسفة (SD5) الواقعة في الجانب الأيسر قرب الطرف الشرقي من السد وذلك خلال سنتين متتاليتين مما يشير على استمرار عملية الذوبان. كما درست اللجنة النتائج التي تمخضت عن إجراء المرحلة الأولى من المسح (الجيوراداري) في الجانب الأيسر وكانت هذه النتائج مؤيدة لاستنتاجات اللجنة السابقة عن الحجم المتطور جدًا من التكهف والكارست.

لذا، فقد أوصت اللجنة باستمرار التحري (الجيوراداري) للبحث عن معلومات جديدة تساعد في تحسين برنامج التحشية المستمر في ذلك الوقت، كما أكدت اللجنة توصيتها السابقة بتحديد منسوب التشغيل الأعلى بمنسوب (319) بدلًا من منسوب (330).

وقد ذهبت اللجنة أيضًا، إلى حث العاملين في التحشية على استخدام منظومات التحشية الذكية (INTELGROUT) التي سبق التعاقد على استيرادها من قبل الجانب الأمريكي والتي كانت قد وصلت إلى الموقع فعلًا. ولم يكن لدى لجنة الخبراء المعلومات التي سبق لنا أن نوهنا عنها في الفصل التاسع عن وصول هذه المعدات إلى الموقع وكانت ناقصة بشهادة المفتش العام لبرنامج إعمار العراق الأمريكي مما جعل استخدامها متعذرًا. وكان رأي لجنة الخبراء بأن استعمال تلك المعدات سوف يحسن ويطور عملية التحشية ويعطي نتائج أفضل في تلك التحشية.

أما في مجال البحث عن الحل الدائم لمشكلة سلامة سد الموصل، خاصةً في

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press /سحب ثالث/ سد الموصل

ضوء المخاطر التي بدأت تزداد بتطور الخسفات الأرضية، فقد أوصت اللجنة مجددًا بالقيام بالإجراءات اللازمة لتنفيذ ستارة قاطعة موجبة (حائط دايفرام)، حيث إن عمليات صيانة ستارة التحشية لم تعد كافية لوحدها للمحافظة على استقرارية الحالة وسلامة السد. ولم تغفل اللجنة أن تذكر بأن العمق المطلوب لمثل هذا الدايفرام غير مسبوق، مما يعني ضرورة القيام بدراسة الأمر بدقة من قبل استشاريين متخصصين والمنتجين المؤهلين لمعدات الدايفرام. وقد ذهبت اللجنة في ذلك بعيدًا، فقامت بتسمية شركتين متخصصتين بإنتاج مثل هذه المعدات وتنفيذ مثل هذه الأعمال، وبينت أنه قد يكون باستطاعة إحداهما تنفيذ الدايفرام موضوع البحث، وكانت جنسية الشركتين ألمانية وإيطالية. وقد استرسلت اللجنة في تقريرها فعمدت إلى التشكيك بجدوى سد بادوش كسد صد وفي مدى كفاية لب السد الترابي بتصميمه الحالي للصمود أمام الموجة الفيضانية لسد الموصل وإمكانية انسداد المنافذ السفلى له بالأنقاض والركام التي تجرفها الموجة معها عند انطلاقها عبر المسافة بين السدين، مما قد يؤدي إلى الطفح فوق قمة سد بادوش وانهياره هو الآخر.

وأدرج تقرير اللجنة التوصيات بهذا الشأن كما يلي:

- تركيز الجهود لتحسين درجة الموثوقية من سد الموصل من خلال تنفيذ إجراءات معالجات الأسس التي تمت التوصية بها سابقًا. كما وفي الوقت نفسه دراسة تنفيذ سد بادوش بطاقة أصغر من التصميم الحالي للعمل كسد تنظيمي فقط لتوليد الطاقة الكهربائية.

- دراسة التصميم الحالي لسد بادوش وإلغاء الوظيفة التي كانت مناطة به كسد صد للموجة الفيضانية في حالة انهيار سد الموصل والقيام بالتغيرات المطلوبة على الأجزاء المنفذة منه حاليًا، حتى إن اقتضت التغيرات هدم وإزالة أجزاء من الأعمال المنجزة اعتمادًا على جيولوجية المنطقة.

- القيام بدراسة جدوى فنية واقتصادية للتغيرات المطلوبة على تصاميم سد بادوش والأجزاء المنفذة منه.

- التوصية بتنفيذ الستارة الموجبة القاطعة (الدايفرام) والتعاقد مع إحدى الشركتين اللتين أسمتهما لجنة الخبراء.

قامت وزارة الموارد المائية بدعوة الشركتين المنتجة لمعدات تنفيذ (الدايفرام) واللتين أسمتهما اللجنة لتقديم العروض الأولية لتنفيذ هذا العمل، وبعد التفاوض

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press /سحب ثالث/ سد الموصل/

معهما توصلت إلى توقيع رسالة تفاهم مع إحداهما وهي الشركة الألمانية (باور) وذلك في سنة (2011).

وقد نشرت وسائل الأعلام العالمية هذا الخبر في صدر نشراتها وحسب النص التالي وكما جاء من وكالة (رويتر) للأنباء في الرابع من تشرين الأول سنة (2011):

«قالت شركة باور للإنشاءات الهندسية الألمانية على لسان مدير عام الشركة السيد توماس باور ما يلي: إن الشركة قامت بتوقيع رسالة تفاهم لإعادة تأهيل سد الموصل في العراق بكلفة كلية تبلغ (2,6) مليار دولار أمريكي (أي ما يوازي (3,1) ترليون دينار عراقي). وإننا نتوقع بأن يكون عقد المقاولة جاهز للتوقيع خلال الشهور الخمسة القادمة، بعد توضيح بعض التفاصيل الفنية النهائية. ويعتبر المشروع أكبر عمل تقوم به الشركة على الإطلاق ويستغرق العمل فيه ستة سنوات، ويشمل بناء جدار قاطع لمعالجة سد الموصل الواقع شمال العراق حيث إن أسس السد البالغ من الطول (3,6) كيلومتر قد تردت بسبب الرشح وبصورة متزايده»[17]، ولا يمكن التأكد من هذا الحل بصورة مطلقة.

غير أن الحكومة العراقية جمدت رسالة التفاهم هذه لاحقًا وقبل توقيع العقد لأسباب لم يتسنى لنا معرفتها، وقد قام أحد خبراء الشركة بإلقاء الضوء على التفاصيل الهندسية للدايفرام المقترح، وذلك خلال محاضرة ألقاها في الندوة العالمية لسد الموصل التي عقدت في أيار سنة (2016) في ستوكهولم وتبنّت جامعة لوليو السويدية تنظيمها.

وترينا مجريات الأمور، بأن وزارة الموارد المائية لم تسع أبدًا لاختيار مسار مستقل عن توصيات اللجنة الأخيرة، وإنما كانت تتبع توصياتها بصورة عمياء، وكانت قد قامت أيضًا بتوقيع عقد جديد سنة (2008) مع اتحاد جديد من الاستشاريين لدراسة سد بادوش وفقًا لحجم العمل وتفاصيله المحددة من قبل اللجنة. أما هؤلاء الاستشاريون، فهم: اتحاد شركة الكونكورد الأردنية، وشركة بول ريزو الأمريكية، مع مشاركة هامشية من شركة انركوبروجكت اليوغسلافية المصمم الأصلي لسد بادوش. وتضمن العقد ثلاث مراحل، وشملت أعمال المرحلة الأولى: تقييم الأعمال المنجزة في سد بادوش وتم تقديم تقرير هذه المرحلة في كانون الثاني (2009)[18]. وأما المرحلة الثانية، فكانت لدراسة التصاميم الهيدروليكية للسد، والتحقق من كفاءتها وقدم تقرير هذه المرحلة في أيار

سنة (2009)[19]. وأما المرحلة الثالثة المتضمنة تقديم التصاميم الجديدة للسد ومستندات عقود التنفيذ، فقد قدمت لاحقًا في سنة (2010).

لقد كانت توصيات هؤلاء الاستشاريين ما يلي:

- يجب أن لا يكون تصميم سد بادوش لأغراض خزن المياه في حالة انهيار سد الموصل.
- إعادة تصميم سد بادوش بصورة كاملة، فقط لغرض توليد الطاقة الكهربائية، ويكون منسوب قمة السد (260) متر، وإبقاء إمكانية رفع منسوب السد إلى منسوب (312) لاحقًا.
- زيادة الفيضان التصميمي للسد بموجب المعلومات الهيدرولوجية الجديدة وباستعمال طرق من توزيعات الاحتمالية المتطورة (Refined Probability Distribution Techniques)، ولم يحدد الاستشاري ماهية هذه التوزيعات المتطورة.
- في حالة إصرار رب العمل على تنفيذ سد بادوش لخزن موجة الفيضان كسد صد في حالة فشل سد الموصل، فعندئذٍ يتطلب استعمال النمذجة الرياضية من أجل التوصل إلى:

أولًا: تحديد منسوب الخزن الأعلى بصورة دقيقة.

ثانيًا: حساب المخاطر التي قد تنجم من انسداد المنافذ السفلى بسبب ما ينجرف من ركام ورسوبيات عند انهيار سد الموصل.

- دراسة إمكانية تفريغ خزان سد بادوش في مدة تتراوح بين (40 ـ 60) يومًا، ودراسة إمكانية نهر دجلة لإمرار التصاريف وبالأخص خلال مدينة الموصل.
- دراسة الآثار التي قد تتأتى من سد بادوش على المياه الجوفية.
- دراسة إمكانية الرشح من سطوح التماس بين الجزء الخرساني والجزء الترابي من السد.
- التنسيق بين تنفيذ سد بادوش وأعمال المعالجة النهائية في سد الموصل المتمثلة بإنشاء الدايفرام.

من دراسة هذا التقرير، يبدو أن هناك انحيازًا واضحًا بالضد من تنفيذ سد بادوش كسد للصد، وكان الاستشاري ينفذ إملاءات لجنة الخبراء في إلغاء سد بادوش كسد صد وتبني موضوع تنفيذ الدايفرام في سد الموصل. كما أنه بين في تقريره، أنه بالإمكان أن يقوم رب العمل برفع منسوب قمة السد لاحقًا إلى منسوب (312) ـ وهو المنسوب الأصلي ـ، والاستفادة منه إذا ما لاحظ رب العمل أن سد

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/

الموصل يوشك على الانهيار فعلًا، مما يعكس تردده في اتخاذ قرار حاسم بشأنه.

لذا، وفي معرض ردنا على ما أورده هذا الاستشاري من أسباب لعدم الإبقاء على سد بادوش كسد صد نقول ما يلي:

- يبدو وكأن الاستشاري يجهل بأن منسوب الخزان الأعلى قد سبق الوصول إليه فعلًا بواسطة النمذجة الرياضية وأنه قد دقق على نموذج هيدروليكي، حيث تطابقت النتيجتان.

- أما أن تنسد المنافذ السفلى بالرسوبيات الناجمة من انهيار سد الموصل، فنرى أن هذه الفرضية غير واقعية، حيث لا يمكن لمثل هذه الرسوبيات أن تصمد أمام الضاغط المائي المتصاعد عند امتلاء الخزان.

- وحول تأثير سد بادوش على المياه الجوفية، فهي لن تكون أكثر من تأثير أي سد آخر على المياه الجوفية ومنها سد الموصل. ولا نرى في هذا أي مبرر علمي يعيق إنشاء السد، إذا ما حقق أغراضه الأخرى. وكان على الاستشاري توضيح الأخطار المحتملة إن وجدت.

- وفي معرض الرد على المخاطر التي قد تنجم من الرشح من سطوح التماس بين الجزء الخرساني والجزء الترابي، فإننا نؤكد بأنه لن يكون هناك مخاطر في هذا المجال إذا ما كانت تفاصيل الربط قد أخذت هذا الموضوع بنظر الاعتبار. وكان على الاستشاري الرجوع إلى تفاصيل الربط بين جسم السد الترابي ومنشأ المحطة الكهرومائية في سد حديثة والعديد من السدود الأخرى المشابهة في العالم.

- كما لا نعلم لماذا اختار الفترة بين (40 ـ 60) يومًا لتفريغ سد بادوش من التخزين الحاصل من موجة سد الموصل، وهل أن هذه المدة جاءت نتيجة دراسة معمقة أثبت فيها الاستشاري بأن سد بادوش لن يصمد أكثر من تلك المدة مما يتطلب تفريغه بهذه السرعة قبل انهياره هو الآخر؟.

وفي هذه الحالة، من حقنا والأولى برب العمل مطالبة الاستشاري لتقديم حجج أقوى لكي يبني عليها استنتاجه هذا. كما كان من الأفضل للاستشاري أن يقترح حلولًا لزيادة رصانة سد بادوش والتي كانت بالتأكيد ستكون أقل كلفة من هدم الأجزاء الخرسانية المنفذة من السد وحسب ما أوصى الاستشاري في تقريره.

- أما عن ضرورة التنسيق مع أعمال معالجة سد الموصل بإنشاء الدايفرام، فيبدو بأن الاستشاري قد أخذ علمًا بهذه المعالجة سلفًا، وأن عمله يقتصر على إعادة تصاميم سد بادوش وفقًا لمنظور اللجنة بعد توضيح الأسباب بعدم جدوى سد

بادوش بتصاميمه الأصلية. وبالتالي، اعتبار تلك التوصيات وكأنها مقررات نهائية ملزمة لرب العمل. في الوقت الذي لم نجد أن هناك أي إلزام لرب العمل للعمل بتوصيات اللجنة هذه وأن رأيها لا يعدو كونه رأي استشاري قد يؤخذ به أو يعدل أو حتى أن يرفض.

في الوقت الذي نرى أن عمل اللجنة قد سار على نهج لجنة الخبراء السابقة التي تألفت سنة (2004) وقدمت توصياتها ضمن دراسة واشنطن كروب أنترناشنال وبلاك أند ڤيتش سنة (2005)، إلا أنها لم تضف أي شيء جديد على تلك الدراسة القيمة، في الوقت الذي تمسكت فيه بحل تنفيذ الدايفرام. وحتى أن المسح الجيوراداري للأسس الذي نفذ بتوصية منها وكانت تكاليفه عالية، لم يحقق أي إضافة على ما سبق من معلومات عن حالة الأسس.

أما التوصية الوحيدة التي نراها ذات فائدة في زيادة هامش الأمان والسلامة للسد، فكانت تحديد أعلى منسوب تشغيلي للخزان بمنسوب (319) بدلًا من منسوب (330). ولهذه التوصية سبب لا بد أن نسرده الآن؛ فقد اتخذت اللجنة هذه التوصية تحت ضغط عامل الخوف من تطور خسفات جديدة ولم تنبع من فهم حقيقي للموقف.

ودليلنا على ذلك، هو أن المؤلف الأول كان حاضرًا في جلسة الاجتماع الذي عقد كالعادة في عمان، عندما قام مدير المشروع باستعراض تطور الخسفات في الموقع على مدى السنوات السابقة وقام بعرض صور لها، وقد أثرت تلك الصور باللجنة كثيرًا مما دعا رئيس اللجنة للسؤال عن منسوب الخزن في ذلك اليوم تحديدًا، وعندما جاء الجواب من مدير المشروع بأن منسوب الخزن كان في ذلك اليوم هو منسوب (319)، عندئذٍ قررت اللجنة التوصية بعدم رفع المنسوب أعلى من ذلك، ولحين ورود نتائج لدراسات جديدة. وهكذا استمر الأمر بعد ذلك التاريخ لعدم ورود أي دراسات جديدة. ويمكن أن نقول بأن منسوب الخزان لو كان في ذلك اليوم (320) أو (318) على سبيل المثال لأوصت اللجنة عندئذٍ بأن يكون منسوب التشغيل الأقصى للخزان هو المنسوب في ذلك اليوم بالذات.

إن اجتماعات لجنة الخبراء التي استمرت خلال سنة (2007) تزامنت مع عمل موازٍ قام به فيلق المهندسين في الجيش الأمريكي في مراجعة وتحليل ما توفر من المعلومات كافة عن سلامة سد الموصل في ديسمبر (2006)، وتوصلت الدراسة إلى أن السد كان يمثل حالة غير سليمة وذات أخطار غير مقبولة، وكانت نتائج هذه

الدراسات هي ما دعت السفارة الأمريكية بتوجيه رسالتها التحذيرية التي تطرقنا لها سابقًا. وقد واصل فيلق المهندسين الأمريكيين دراساته عن سد الموصل بصورة مستقلة عن دراسات واجتماعات لجنة الخبراء العائدة لوزارة الموارد المائية، وقام مركز البحث والتطوير الهندسي العائد للفيلق (ERDC) بدراسة الحالة الجيولوجية للأسس من أجل معرفة تأثيرات الذوبان المستمر في الأسس، وقد باشر بهذا العمل سنة (2006) ونشرت نتائجه في تقرير صدر في أيلول من سنة (2007)[20]، وقد تطرقنا إلى هذه الدراسة في الفصل التاسع.

وكانت الدراسة تهدف إلى التأكد من سلامة سد الموصل على المدى البعيد ومدى تأثير تحشيات الصيانة على صخور الأسس، وقد خلصت الدراسة بأن حالة السد كانت محاطة بدرجة عالية من المخاطر. **وقد أظهرت ما يلي**:

- أولًا: إن حالة الذوبان في الأسس كانت في تقدم مستمر بالاتجاه العمودي نحو الأسفل والاتجاه الأفقي باتجاه الشرق ونحو مسافات أبعد في المؤخر متبعة ميل (Dip) الطبقات الصخرية أي بزاوية (6°) مع الأفق.

- ثانيًا: إن دراسة مؤشر نوعية الصخور في الأسس (RQD) كانت تشير بوضوح إلى تدني نوعية تلك الصخور نتيجة للاستمرار بتحشية الصيانة وتكرار تلك العملية في نفس المواقع.

- ثالثًا: استمرار التدهور في كفاءة الستارة، بالرغم من القيام بتحشية الصيانة ذات الأثر الوقتي.

- رابعًا: أكد التقرير ما سبق التوصل إليه من حقيقة وهي: أن تحشية الستارة في موقع ما من مقطع معين يؤدي إلى تغير مسار رشح المياه وفتح مسالك جديدة له خلال موقع مجاور في الستارة في المقطع التالي أو مقطع قريب له وقد سبقت معالجته وتدهور مؤشر نوعية الصخور فيه.

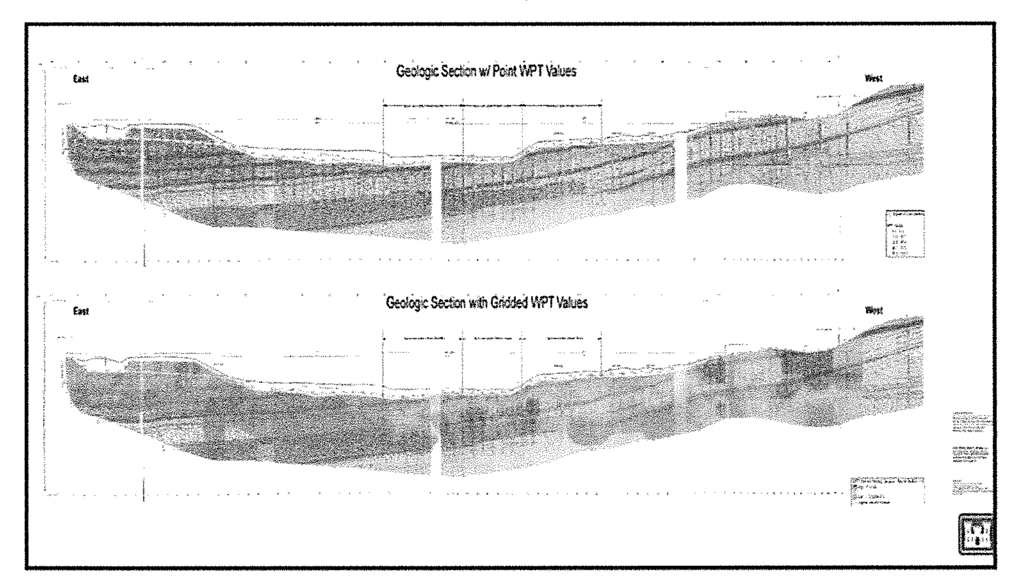
- خامسًا: إن حالة الذوبان والكارست كانت موجودة أساسًا في عمق الأسس قديمًا، أما الجديد في الموضوع، فهو حالة النشاط المتزايد للذوبان والتكهف والتدهور السريع في الأسس وفي ستارة التحشية بسبب استمرار حالة الذوبان نتيجة للأحمال الهيدروليكية الجديدة الناجمة عن إملاء الخزان.

- سادسًا: تمكن العاملون في هذا البحث من التوصل إلى تصور الحالة التاريخية للكارست التي كانت سائدة ولغاية المباشرة بأعمال التحشية في الأسس، وذلك من خلال دراسة نتائج فحوصات (لوجون) التي نفذت في آبار التحشية التي

جرت من رواق التحشية، وإيجاد ترابط بين حالة الكارست القديمة وآثارها اللاحقة.

وقد جرى هذا باستعمال برنامج للتوزيع المكاني الإحصائي الجيولوجي (ESRI Spatial Software. Geo-statistical)، ويوضح الشكل رقم (4) النتائج ومن خلاله نلاحظ بأن اللون الأحمر يؤشر حالة الكارست التاريخية آنفة الذكر.

● سابعًا: بمقارنة حالة الكارست المبينة في الشكل رقم (4)، مع ما وصلت له الحالة في أسس السد، فإن الذوبان المستمر وحركة جبهة الذوبان نتيجة التحشية المتواصلة قد أدت إلى اتساع الذوبان من المقطع (79) باتجاه الشرق والوصول إلى مقطع (69) خلال العشرين سنة الماضية ومن (1987) لغاية (2007)، أي شمول عشرة مقاطع جديدة بطول يوازي حوالي (350) مترًا. وهذا يعني بأن جبهة الذوبان قد تحركت بمعدل يزيد عن (17) مترًا في السنة الواحدة.



شكل 4: في الأعلى: مقطع جيولوجي على محور السد يظهر فيه نتائج فحوصات لوجون لقياس النفاذية في آبار التحشية المنفذة من رواق التحشية.

أما في الأسفل: فيمثل المقطع نفسه مبينًا عليه مواقع الذوبان والكارست التاريخية التي كانت سائدة في الأسس قبل المباشرة بالتنفيذ مؤشرة باللون الأحمر

لذا، فقد أسهمت هذه الدراسة في تأكيد ما سبق، وما توصلت إليه لجنة الخبراء التي شكلتها شركتي واشنطن كروب أنترناشنال وبلاك أند ڤيتش سنة (2005)، من أن التحشية لن تسهم على المدى البعيد في زيادة درجة الأمان والسلامة لسد الموصل.

لقد بقي قرار وزارة الموارد المائية بشأن الحل النهائي لتأمين سلامة سد الموصل

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press /سحب ثالث/ سد الموصل

متأرجحًا ويتذبب بين الإبقاء على سد بادوش كسد صد أو إنشاء الدايفرام كحل نهائي، حيث كانت مقتنعة في البداية بما توصلت إليه دراسة شركتي واشنطن كروب أنترناشنال وبلاك أند فيج (2005) في كون سد بادوش هو الحل الذي يكفل السلامة التامة لحوض دجلة والمواطنين الساكنين فيه، وأن حل الدايفرام لا يؤمن الدرجة نفسها من السلامة. إلا أن الوزارة عادت وغيرت رأيها ووافقت على توصية لجنة الخبراء الأخيرة المتضمنة إلغاء سد بادوش كسد صد سنة (2007) وتنفيذ الدايفرام بدله. تلك التوصية التي قادت الوزارة أيضًا إلى التعاقد مع اتحاد الكونكورد ومشاركوها لتقديم دراسة إلغاء سد بادوش كسد صد وإعادة تصميمه فقط كسد واطئ لتوليد الطاقة الكهربائية، على أن يكون الدايفرام هو البديل، كما قامت الوزارة بتوقيع رسالة التفاهم مع شركة باور الألمانية لإنشاء الدايفرام سنة (2011) التي سبق ذكرها.

وتعود الوزارة بعد كل ذلك وتظهر تمسكها بسد بادوش كسد صد لترفض دراسة مشاركة الكونكورد وتتعاقد مع استشاري آخر مكون من اتحاد شركة لبنانية هي شركة (Team International) وشركة ألمانية هي شركة (EDR) لإعادة دراسة الجدوى الفنية والاقتصادية لسد بادوش كسد صد، وهكذا قدم الاستشاري الجديد دراسته سنة (2014)[21].

وقد راجعت الدراسة الجديدة التصاميم الأصلية ورأت إمكانية الاحتفاظ بمعظم الأعمال المنفذة سابقًا في سد بادوش وعدم هدمها وإزالتها، وكما أوصت الدراسة التي سبقتها مع إجراء بعض التحسينات، مثل تعلية منسوب مداخل المنافذ السفلى وإضافة دايفرام في الأسس، كما قدمت التحليل الاقتصادي لفوائد توليد الطاقة الكهربائية. وفي الوقت الذي كانت المؤشرات الاقتصادية من التوليد لا تشجع على تنفيذ السد فقط للتوليد، إلا أن الاستشاري اعتبر بأن فوائد الحماية من الفيضان مجزية جدًا وتدفع إلى تنفيذ السد لتحقيق كلا الهدفين.

وجاء في الاستنتاج الأخير للاستشاري ما يلي:

«بالرغم من أن سد بادوش هو مشروع غير مربح كسد لتوليد الطاقة الكهربائية، إلا أننا يجب أن لا نتغاضى عن هدفه الأصلي المهم جدًا وهو الحماية من مخاطر الفيضان. وعليه، فإنه ليس من الناحية الإنسانية ولا حتى الاقتصادية النظر إلى المشروع كمجرد مشروع لتوليد الطاقة الكهربائية بطاقة توليدية هي (170) ميكاواط، وتقع مسؤولية إنجاز هذا المشروع على عاتق وزارة الموارد المائية كونها الجهة ذات العلاقة».

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press /سد الموصل /سحب ثالث

6 ـ الدراسات الأخيرة لتقييم سلامة سد الموصل (2015)

أخذت الأحداث تسير في منحى خطير جدًّا بالنسبة لسد الموصل، ففي العاشر من حزيران من سنة (2014) اجتاح مسلحو تنظيم الدولة الإسلامية في العراق والشام (داعش) مدينة الموصل ومحيطها، وبالتالي تم قطع الطريق المؤدي إلى معمل سمنت حمام العليل الذي كان يغذي سد الموصل باحتياجاته اليومية من سمنت التحشية، كما أدى ذلك إلى ترك معظم العاملين الموقع خوفًا على أرواحهم. وقد حصل ما كان هؤلاء العاملون يخشونه، فقد احتل أفراد التنظيم موقع سد الموصل في الثامن من آب مما سبب موجة من الخوف العارم في أنحاء العالم من أن يقوم التنظيم بتدمير السد مسببًا كارثة إنسانية كبيرة؛ فقد نشرت جريدة الواشنطن بوست في عددها الصادر في الثامن من آب (2014) مقالًا بعنوان: «هذا ما يمكن أن يحصل إذا ما دمرت الدولة الإسلامية سد الموصل» أوجزت فيه حجم الدمار الذي سوف يسببه هذا الحدث[22]. كما بثت شبكة (CBN News) النبأ في صدر نشراتها الإخبارية يوم التاسع من آب تحت عنوان «سد الموصل ـ القنبلة النابضة بيد الإرهابيين»[23]، وقد استرسلت في تغطيتها بالقول: «إن الكابوس الذي طالما أخاف العالم وهو حصول مجموعة إرهابية على سلاح للدمار الشامل قد وقع فعلًا».

وقد ذهب العديد من مواقع الأخبار ووسائل الإعلام إلى وصف حجم الفيضان الناجم والخسائر البشرية التي قد تحصل من تدمير السد؛ لذا فليس من الغريب أن يتم استرجاع الموقع من أيدي التنظيم في السادس عشر من الشهر نفسه بصولة سريعة وعزومة من قبل القوات الخاصة العراقية وقوات البيشمركة الكردية تحت غطاء جوي من قبل الولايات المتحدة، وبالتالي عدم فسح المجال لمسلحي التنظيم من القيام بتدمير السد.

إن النتيجة النهائية من كل ذلك، كان توقف أعمال التحشية التي كانت مستمرة لما يقرب من الثلاثين سنة والتي استهلكت ما يقرب من (95000) طن من مواد التحشية الصلبة، وبالتالي توقف أعمال صيانة الستارة العميقة تحت السد التي كانت وما زالت تعتبر حلًّا مؤقتًا، إلا أنه ضروري لإطالة فترة استقرارية أسس السد لمدة أبعد.

أدرك المسؤولون في فيلق المهندسين في الجيش الأمريكي (USACE) خلال فترة قصيرة من توقف عمليات التحشية التداعيات الخطيرة الناجمة عن هذا التوقف

بسبب معرفتهم المسبقة بالحالة الهشة لأسس السد، وكان رد الفعل تجاه ذلك سريعًا، فتم تأليف فريق مشترك من عدد من الوكالات الأمريكية المعنية بالسدود وسلامتها وبقيادة من فيلق المهندسين المذكور وذلك في بداية سنة (2015) من أجل القيام بإجراء القياسات والرصودات وكذلك المسوحات لمتابعة تطور الحالة التي قد تسبب انهيار السد. ومن جملة الإجراءات التي اتخذها فريق الرصد، القيام بنصب منظومة للإنذار المبكر تتكون من أجهزة للتحسس النائي لرصد الحركة والهبوط في نقاط مهمة على جسم السد والمنشآت، بالإضافة إلى نصب كاميرات مراقبة على قمة السد والمسطبة الخلفية منه. كما تم القيام بعملية مسح تحت الماء لمؤخر السد من قبل غطاسين تم استقدامهم لهذا الغرض، وفي الشكل رقم (5) بعض تفاصيل منظومة الإنذار المبكر الآنفة الذكر. ويذكر أن تقرير فيلق المهندسين الذي وردت فيه هذه المعلومات لا زال سريًّا ومحدود التداول إلى الآن.

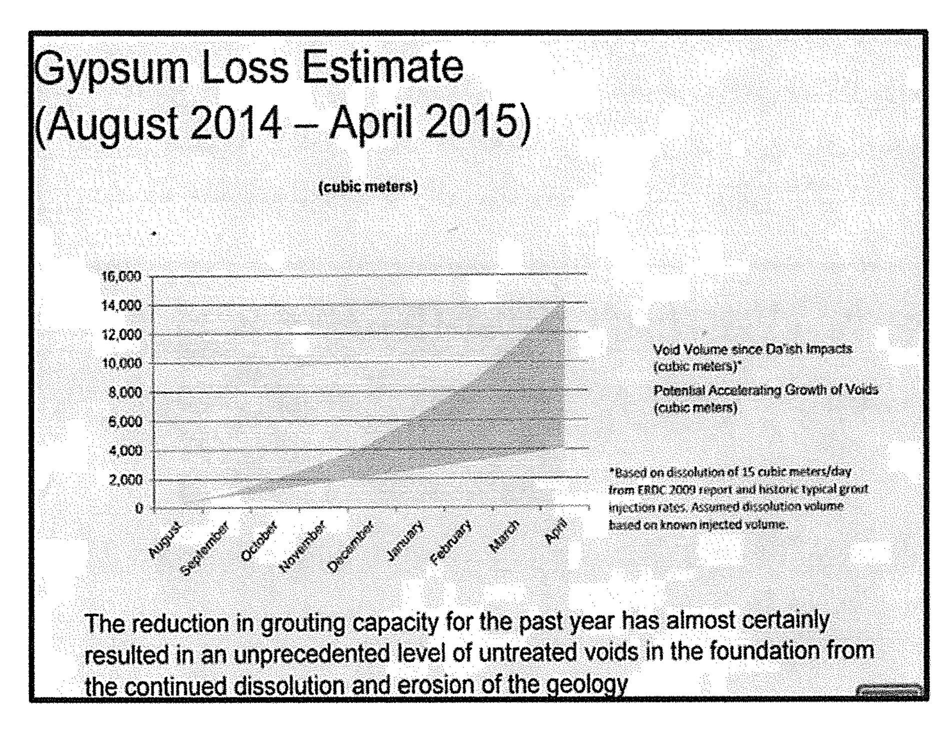


شكل 5: منظومة الرصد والإنذار المبكر في سد الموصل (2015)

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/

لقد كانت النتائج التي حصل عليها فريق الرصد مثيرة للقلق، ويمكن إيجازها بما يلي:

• كانت هناك علامات متصاعدة من تكوّن للفجوات والتكهفات والخسفات الأرضية تحت السد في الأسس. كما أن توقف عمليات تحشية صيانة الستارة منذ آب (2014) لغاية نيسان سنة (2015) ـ وهي المدة التي غطتها القياسات ـ تشير إلى زيادة كمية الصخور الجبسية المفقودة من الأسس بمقدار (10000) متر مكعب، أكثر عن الكمية المتوقعة في حالة عدم توقف أعمال صيانة تحشية الأسس، وكما هو مبين في الشكل رقم (6).

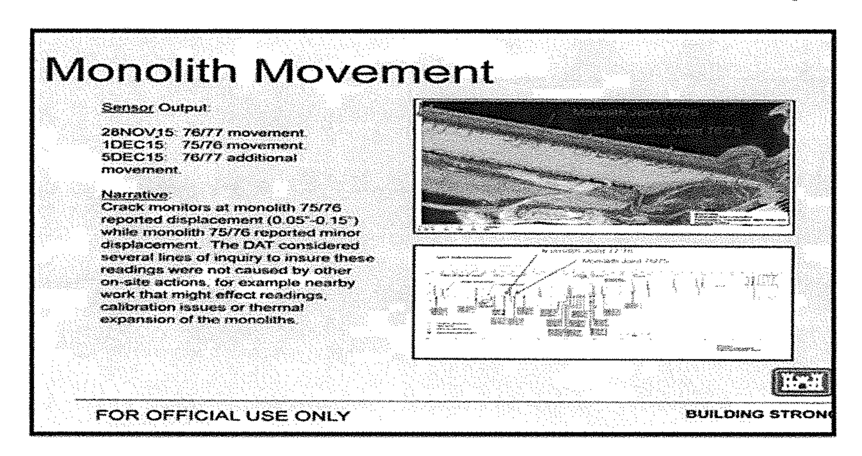


شكل 6: تخمين كميات الصخور الجبسية المفقودة من الأسس

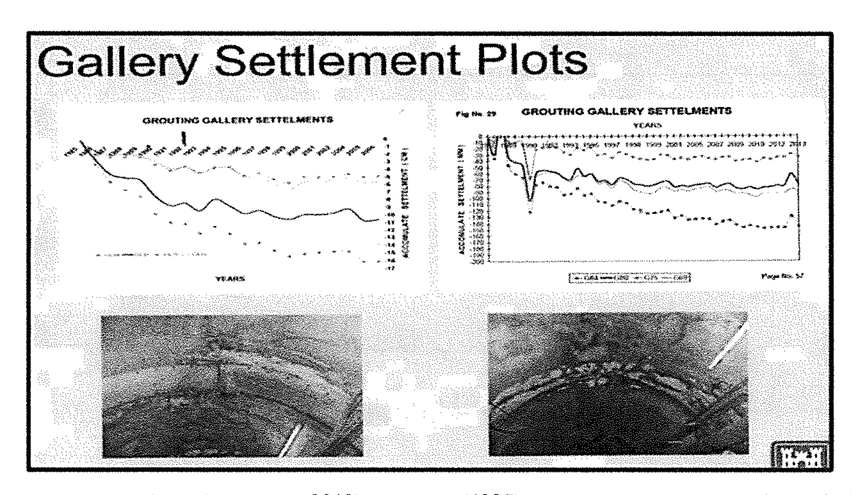
• كانت هناك علامات تشير إلى زيادة تركيز أيون الكبريتات في مياه الرشح تدعم الملاحظة حول ازدياد الذوبان في الأسس، وكما سبق شرحه في أعلاه.

• كانت هناك علامات متزايدة من حركة أجزاء رواق التحشية الخرسانية، وبالتالي ظهور تصدّعات في سطوح المفاصل الإنشائية في بعض الأجزاء المتجاورة منه، مما يشير إلى زيادة في هبوط هذه الأجزاء. ومثال ذلك التشققات في المفصل بين مقطع (75) ومقطع (76) والمفصل بين مقطع (76) ومقطع (77)، حيث كان الهبوط المسجل يتراوح بين (0,5) انج و(0,15) انج وكما مبين في الشكل (7).

وكانت تواريخ تسجيل الحركة هي الثامن والعشرين من تشرين الثاني سنة (2015) والأول والخامس من ديسمبر من السنة نفسها وكما هو مبين في الشكل المشار إليه. وقد كشف البحث بأن تلك التشققات لم تنجم عن أي فعالية جديدة في أعمال موقعية قريبة أو نتيجة للتمدد الحراري أو فعالية زلزالية. وتمت مقارنة الحركة المسجلة في سنة (2015) مع السجل التراكمي للحركة منذ سنة (1986) الذي قامت بتحديثه سنة بعد أخرى إدارة المشروع، فظهر بأن الزيادة خلال سنة (2015) كانت تدل عن حالة تدهور سريع في أسس السد. ويظهر الشكل رقم (8) تسجيلات الحركة التراكمية منذ سنة (1986) حتى نهاية سنة (2015) في مقاطع الرواق المرقمة (69)، (75)، (80) و(84).



شكل 7: قياسات رصد الحركة في أجزاء رواق التحشية



شكل 8: في أعلى الشكل: السجل التراكمي من سنة (1985) لغاية سنة (2013) مرة مسجلة بالسنتمترات ومرة بالمليمترات. أما في الأسفل: فصور للمفاصل الإنشائية المتأثرة بالهبوط بين جزئين متجاورين من رواق التحشية

هنا، لا بد لنا من أن نذكر بأن فيلق المهندسين في الجيش الأمريكي كان في سنة (2005) قد طوّر وطبق ما سماه ملف السلامة وتحليل المخاطر (Safety portfolio of Risk Analysis) ومختصره (SPRA) من أجل تقييم سلامة السدود وتصنيفها وفقًا لدرجة سلامتها.

وكانت عملية الفحص المقصودة ترمي إلى غربلة كافة السدود والمنشآت الهندسية المماثلة التي يمتلكها ويشغلّها فيلق المهندسين المذكور. وتتم العملية بفحص مستوى السلامة ودرجة المخاطر في كل من هذه السدود والمنشآت وفق معايير محددة، منها: تكرار الأحمال على كل سد أو منشأة وحالة ذلك السد أو المنشأة الهندسي، وبالتالي تخمين حجم الخسائر البشرية والمادية والاحتمالية النسبية لوقوعها، ومن ثمَّ استعمال هذه المخرجات من أجل تصنيف السدود والمنشآت وفقًا لدرجة السلامة النسبية التي تكشف عنها هذه الغربلة.

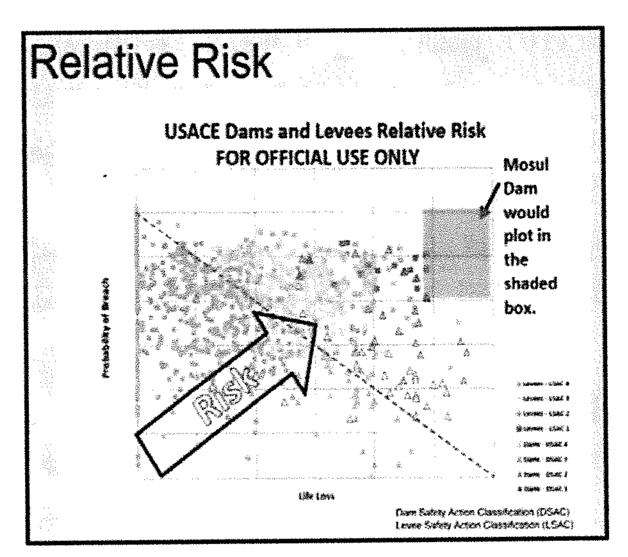
وتمت بهذه الطريقة، غربلة وتقييم سلامة (563) سدًّا و(108) منشأة هندسية تختلف فيما بينها في أسباب ونتائج الفشل وذلك خلال السنوات من (2006) لغاية سنة (2009).

وأدرجت كافة هذه السدود والمنشآت في ملف السلامة وتحليل المخاطر (SPAR) العائد لفيلق المهندسين في الجيش الأمريكي (USACE). واستخدم هذا الملف بعد ذلك لإيجاد ما سمي بتصنيف إجراءات سلامة السدود (Dam Safety Action Classification) ومختصره (DSAC). ويترتب على هذا التصنيف، تحديد الإجراءات اللازمة لدعم سلامة كل سد ومنشأة من تلك السدود والمنشآت.

لقد اشتمل هذا التقييم سدودًا مشيدة لأغراض مختلفة، كالحماية من الفيضان والملاحة النهرية والسدود المتعددة الأغراض[24].

لذا يمكن القول: بأن الفريق الذي قام بتدقيق سلامة سد الموصل في سنة (2015) قد استخدم الطرق والأساليب المذكورة أعلاه من أجل تقدير الخطورة النسبية في حالة سد الموصل، ومستندًا في ذلك على نتائج الرصودات والقياسات التي أجراها خلال تلك السنة وحجم الأضرار المتوقعة. وعليه، توصل إلى تصنيف السد وفقًا لمخاطرة النسبية.

وأظهر هذا التصنيف بأن سد الموصل يمثل حالة متقدمة جدًّا من الخطورة النسبية التي لم يصل إليها أي سد آخر كما يبين ذلك الشكل رقم (9).



شكل 9: الخطورة النسبية لسد الموصل بالمقارنة مع الخطورة النسبية في سدود ومنشآت فيلق المهندسين في الجيش الأمريكي

واستنادًا إلى هذا الشكل، فقد اعتبر فريق الفحص والتدقيق بأن حالة سد الموصل من الخطورة التي لم يسبق لها مثيل أبدًا في كافة السدود المكونة لقاعدة بيانات فيلق المهندسين. لذا، فقد ختم الفريق تقريره بالاستنتاج المبين أدناه الذي تم اقتباسه من تقرير فيلق المهندسين نفسه والذي ضم كافة النتائج والتقييمات، وكما هو مبين في الشكل (10)، كما ندرج أيضًا الترجمة لهذا الاستنتاج باللغة العربية.

Conclusion

Since coordinated monitoring of Mosul Dam began over a year ago, the interagency team monitoring the dam has identified significant signs of distress and potential failure progression that were not identified when post-ISIL monitoring began. All information gathered in the last year indicates Mosul Dam is at a significantly higher risk of failure than originally understood and is at a higher risk of failure today than it was a year ago.

الاستنتاج

لقد وجد الفريق المشترك لمراقبة سد الموصل منذ بداية المراقبه المنسقه للسد قبل سنه بان هناك علامات خطيره من الاجهاد وتقدم في احتمالية الفشل التي لم تكن موجوده عندما بدا هذا التدقيق بعد تحرير السد من سيطرة تنظيم الدوله الاسلاميه في العراق والشام. وتشير كافة المعلومات التي تم جمعها خلال السنه المنصرمه بان سد الموصل في حاله متقدمه من الخطوره العاليه التي تفوق ماكان معروفا عن ذلك في الاصل. كما ان السد اليوم يعاني من احتمال الانهيار اكثر مما كان عليه في السنه الماضيه.

شكل 10: التقييم النهائي للفريق المشترك

إن الاستنتاج النهائي للفريق المشترك الوارد في الشكل (10) أعلاه يغنينا عن أي تعليق آخر عن حالة السد في نهاية سنة (2015). وقد وردت كافة تفاصيل العمل المنجز في تقرير فيلق المهندسين في الجيش الأمريكي الذي كان جاهزًا للتداول فقط ضمن حلقة محدودة من منتسبي الفيلق المذكور ولغرض الاستخدام الرسمي في نهاية السنة المذكورة. وتم تحديث التقرير في نهاية كانون الثاني من سنة (2016) وأرسل للحكومة العراقية مرفقًا بتحذير قوي للغاية من الاحتمالات العالية لانهيار السد.

لقد سبب الكشف عن نتائج التقرير ضجة كبرى في وسائل الإعلام العالمية من شبكات إخبارية وصحف محلية ومحطات فضائية، وكانت هذه الأوساط تتحدث عن الانهيار القريب للسد ونتائجه الكارثية ولكن بلغة تدعو حقًّا إلى الرعب والخوف. وفي الوقت نفسه، قام الرئيس الأمريكي أوباما بالاتصال الهاتفي مع رئيس الوزراء العراقي حيدر العبادي من أجل جلب انتباهه إلى حجم المشكلة ومن أجل قيام الحكومة باتخاذ الإجراءات الوقائية لحماية السكان المعرضين للخطر.

وقد أدى الأمر إلى مناقشة الموضوع في مجلس النواب العراقي الذي اتخذ قرارًا بإيفاد أحد أعضائه للقيام بزيارة السفارة الأمريكية في بغداد من أجل استيضاح الأمر.

قامت السيدة شروق العبايجي العضو في المجلس ونائبة رئيس لجنة الزراعة والمياه والأهوار بهذه الزيارة واجتمعت مع المسؤولين في السفارة الأمريكية في بغداد في اليوم السابع من شباط (2016) ـ وهم: الملحق الاقتصادي في السفارة، وممثل عن فيلق المهندسين، إضافةً إلى ممثل برنامج الطوارئ في البرنامج الإنمائي الدولي للولايات المتحدة (USAID) ـ. وقد كشف هؤلاء للسيدة شروق العبايجي تفاصيل التقرير وحجم النتائج المترتبة عن الانهيار. فقامت الأخيرة بتقديم تقريرها إلى رئاسة المجلس، كما قامت بنشره في صفحتها على الأنترنت؛ وهو المصدر الذي استقينا منه هذه المعلومات[25].

وقد لوحظ بعد نشر هذا التقرير، بأن المجلس لم يقم بعدها بمناقشة الإجراءات الحكومية التي تلت ذلك ولم يتسرب إلى وسائل الإعلام بصورة واضحة عن ماهية الإجراءات والتدابير التي اتخذها مجلس الوزراء. وربما يعزى ذلك لإنشغال الحكومة بمحاربة تنظيم الدولة الإسلامية وكذلك انشغال الكتل السياسية فيما بينها بالتنافس على المناصب الوزارية الشاغرة والتي كان من بينها منصب وزير الموارد المائية والوزارات الأخرى الفاعلة في تنظيم أي خطة للطوارئ.

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press /سحب ثالث/ سد الموصل/

وكان كل ما تمخض عن ردة فعلٍ من مجلس الوزراء، هو إصدار بيان إعلامي موجه للمواطنين القاطنين في حوض النهر مؤخر سد الموصل بالانتقال إلى المناطق العالية وبمسافات تتراوح بين ثلاثة وخمسة كيلومترات عند إنذارهم بالخطر وبدون أية تفاصيل أخرى مما يجعل المرء يتساءل عن المعلومات التي اعتمدتها الحكومة (إن وجدت) لإصدار مثل هذا الإنذار وتحديد هذه المسافات بالذات. كما لم يتضح طريقة التعامل مع المواطنين النازحين من مناطقهم وتفاصيل الإخلاء قبل وقوع الحدث وأساليب ونوع الإغاثة بعد وقوع الحدث.

كما قامت الحكومة العراقية وبضغط شديد من الجانب الأمريكي بتوقيع عقد مع شركة إيطالية من أجل مواصلة أعمال تحشية الصيانة المتوقفة بالإضافة إلى تصليح البوابة التنظيمية العاطلة في أحد المنفذين السفليين منذ سنة (2013) والتي لم يجر أي تحرك حكومي لتصليحها منذ ذلك الحين، علمًا بأن هذا العطل قد سبب أضرار كبيرة ناجمة عن النحر في جانب حوض تسكين المنفذين كلما تم تشغيل المنفذ السفلي الثاني بصورة منفردة خلافًا لتعليمات التشغيل والتصاميم.

وكان هذا التشغيل خلال هذه الفترة يتم بسبب ضرورة منع الخزان من تجاوز منسوب (319) وتخفيضه إلى هذا المنسوب بعد كل فيضان.

لقد كان مبلغ العقد موضوع البحث (273) مليون يورو ويتم تمويله من القرض المقدم للعراق من قبل البنك الدولي[26]. ولم يرشح من تفاصيل العقد لاحقًا سوى احتوائه على تمويل نفقات (500) عنصر من قوات الكوماندوس الإيطالية للقيام بتوفير الحماية الأمنية للعاملين في الشركة داخل الموقع. أما عن التفاصيل الفنية لأعمال التحشية التي يتضمنها العقد، فلم يكشف النقاب عنها.

إن من حق كل مواطن عراقي وبالأخص المعنيين بالسدود أن يعرفوا ماذا سيتحقق بعد إنجاز العمل وما سوف يحصل بعد انقضاء مدة العقد البالغة (18) شهرًا من تاريخ التوقيع في آذار (2016).

بإدراك كامل من جامعة لوليو الفنية السويدية لمخاطر السد وضرورة التوعية بتلك المخاطر دوليًا، فقد قامت بدعوة المؤلف الأول لزيارة الجامعة في خريف سنة (2014) وإلقاء محاضرات لطلبة الدراسات العليا وللعديد من المهندسين العاملين في حقل تصاميم وتنفيذ السدود للتعريف بالمشاكل التي يعاني السد منها والمخاطر التي قد تنتج من انهياره. وقد أجرى ترتيبات الزيارة والمحاضرات مجموعة بحوث ميكانيك التربة وهندسة الأسس تحت رئاسة البروفسور زفين كنوتسون

(Sven Knutsson) وتمت المحاضرتان في يوم السابع عشر من تشرين الأول من تلك السنة[27].

وقد أسفرت تلك المحاضرات عن تشكيل فريق لبحوث سد الموصل يعمل على تجميع كل ما هو متوفر من معلومات عن السد وتحليل تلك المعلومات والتوصل إلى حلول ومقترحات للمشاكل القائمة. وقد أسفرت جهود الفريق عن ثمانية بحوث تم نشرها في عدد خاص من إحدى المجلات البريطانية المتخصصة في آذار (2015)، وهي: مجلة علوم الأرض والهندسة الجيوتكنيكية البريطانية (Journal of Earth Sciences & Geotechnical Engineering)[28 ـ 35]. كما تم طبع هذه البحوث بكتاب صدر عن دار (Scienpress Ltd) بعنوان:

(التحريات الجيولوجية والهندسية لأخطر سد في العالم)

(Geological and Engineering Investigations of The Most Dangerous Dam in the World)[36]

وقد استمرت جامعة لوليو في مجهوداتها للوصول إلى حلول لسد الموصل، فقامت بتنظيم ورشة عمل دولية في ستوكهولم في الفترة (24 ـ 25) من أيار (2016) دعت إليها عددًا من خبراء السدود من كل من الولايات المتحدة وكندا وفرنسا والسويد والنرويج والنمسا باعتبارهم لجنة خبراء، وحضر أيضًا عدد آخر من الاستشاريين بالإضافة إلى ممثلي عدد من الشركات المقاولة ومنتجي المعدات من النرويج والسويد وألمانيا.

وقد قدم المشاركون خلال يومي ورشة العمل عددًا من المحاضرات عن جيولوجية السد ومشكلة الكارست السائدة في المنطقة وتاريخ المشاكل في سد الموصل، وتفاصيل تلك المشاكل عند تنفيذ العمل، وكذلك عند مَلْءِ الخزان وتشغيله، بالإضافة إلى سيناريوهات موجة الفيضان في حالة انهيار السد الافتراضي وما ينجم عنها من خسائر.

كما قدم فريق عمل جامعة لوليو مقترحًا لخطة عمل لتخفيف وطأة النتائج السلبية وتبني إجراءات وقائية في هذا الشأن.

وقدم عدد من المشاركين آراءَهم في استعمال التحشية، ومناقشة نتائج مراقبة الهبوط في جسم السد باستخدام (الرادار ـ الأقمار الصناعية). وبعد مناقشات مكثفة، توصل فريق جامعة لوليو إلى بلورة خطة عمل على أمل تقديمها كمقترح للحكومة العراقية لحل المشاكل المعقدة في موضوع السد.

وقد صدر عن ورشة العمل بيان ختامي ضمّن كافة تفاصيل مجريات ورشة العمل[37].

وتضمن المرفق الخامس من البيان الختامي المذكور تعليقات لجنة الخبراء العالميين وفريق جامعة لوليو. ويمكن تلخيص المقترحات الواردة فيه كما يلي:

- تخفيض منسوب الخزان إلى أدنى مستوى ممكن، وللفترة التي تدعو الحاجة لذلك، ولحين إجراء تحديث لتحليل المخاطر في سد الموصل.

- ضرورة مواصلة أعمال تحشية الصيانة بأسرع ما يمكن، وأن تهدف إلى معالجة المناطق الأكثر إثارة للقلق أولاً. كما يتوجب الإدراك التام بأن الغرض من أعمال التحشية هو إطالة عمر السد، ولن تكون هذه التحشية حلًّا بعيد المدى بالنسبة للسد.

- من الضروري تقييم برنامج مراقبة سلوك السد واستكمال أية نواقص في أجهزة التحسس الحالية بمتحسسات ضرورية جديدة من أجل تحديد المناطق الحرجة التي يجب العمل على تحشيتها وتحديد أولويات هذا العمل، بالإضافة إلى تقييم حالات الانهيار المتوقع تطورها في جسم السد أو تحته الآن وفي المستقبل، وتوفير منظومة الإنذار المبكر لرصد أية مؤشرات قد تؤشر أين ومتى قد يحصل الانهيار. وعليه يتطلب القيام بصيانة كافة أجهزة التحسس الحالية وتصليح العاطل منها وتحديثها بأجهزة جديدة (وقدمت اللجنة قائمة جديدة بأنواع الأجهزة الجديدة المطلوبة).

- القيام بمسوحات قعرية (Bathymetric Surveys) للكشف على نقاط الرشح الزائد من أسس السد أو أية عيون ماء في المؤخر. كما يتطلب القيام بمثل هذه المسوحات في الخزان نفسه ولمسافة تمتد لعدة كيلومترات فيه للتفتيش عن وجود أية خسفات أرضية، ويجب أن يتم ذلك باستخدام أحدث التقنيات، وبعد تحليل النتائج: قيام إما غطاسين من الضفادع البشرية أو مركبات غوص يتم التحكم بها عن بعد (Remote Operated Vehicles) ومختصرها (ROV) للنظر عن قرب إلى البقع التي يحصل الشك بحصول تسرب مياه فيها من الخزان مقدم السد إلى تحت السد أو وجود تدفقات رشح في مؤخر السد.

- ضرورة تطوير وتطبيق خطة عمل طوارئي (Emergency Action Plan) ومختصرها (EAP) في أقرب وقت ممكن، لتقليل التداعيات السلبية على المناطق المأهولة في مؤخر السد.

كما يتطلب إعادة النظر بسيناريوهات الانهيار المحتمل وتأثيراتها في ضوء المتغيرات والتطورات الحضرية في حوض النهر أسفل السد. وكذلك مع الأخذ بنظر الاعتبار عن المستوى الحقيقي لمنسوب الماء الحالي.

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press /سد الموصل/ سحب ثالث

● ينصح وبشدة تأليف لجنة خبراء تجتمع بصورة دورية كل ثلاثة أشهر لمراجعة الموقف في برنامج التحشية والأعمال الأخرى الجارية لتنفيذ التوصيات الواردة في هذا البيان. وتقوم لجنة الخبراء أيضًا بتقديم الدعم للحكومة العراقية والمنظمات الداعمة الأخرى من أجل التأكد من أن متطلباتهم قد تم التعامل معها خلال العملية.

● في الوقت الذي يجب فيه على الجميع الإدراك بأن التحشية هو إجراء ضمن معالجة وقتية (Stop-Gap measure)، وإن نجاح ديمومته غير مؤكد؛ لذا، فإن من الضروري الإسراع بتقييم كافة البدائل المتاحة والمحتملة لإعادة السد إلى الحالة التشغيلية السليمة، أو أية إجراءات أخرى قد تشمل حتى التوقف عن استعمال السد عند عدم وجود بديل سليم آخر. أما في حالة التوصل إلى حل اقتصادي وفني موثوق وطويل الأمد، فعندئذٍ يتطلب السير بإنجاز هذا الحل وتقليص العمل ببرنامج التحشية والاستفادة من المبالغ التي يتم توفيرها من ذلك للمساهمة في الحل البعيد المدى المختار.

*** أما البدائل المتاحة بنظر اللجنة وفريق عمل الجامعة فهي:**

أولًا: تنفيذ جدار قاطع (دايفرام) في سد الموصل يمتد في عمق الأسس ليصل إلى ما تحت طبقات الصخور الجبسية والأنهايدرايت والتي تحولت إلى صخور جبسية متشظية (GBO). إن مثل هذا الحل، لم يجرب سابقًا في موقع أي سد في العالم بعمق حوالي (250) متر. ويتطلب هذا الأمرَ أعمالًا مكثفة من تحريات وفحوصات جديدة ودراسات جيوتكنيكية من أجل إثبات إمكانية التنفيذ وكفاءة الطريقة بالنسبة لسد الموصل، وربما يحتاج الأمر إلى تحشية مسبقة قبل المباشرة بحفر الخندق في الأسس لَملْء أي كهوف قد تصادف معدات الحفر وتؤدي إلى حشر المعدات في الأسس.

إن هذا الدايفرام، سوف يكون الأعمق في العالم وسيكون هناك مخاطر تتعلق بالعمق وحالة الجيولوجيا المعقدة، وكما ستكون هناك مشاكل تنفيذية في مناطق التماس مع المنافذ السفلى وأنفاق الطاقة. أضف إلى ذلك، ضرورة التوصل بدقة إلى العمق المطلوب تحت أجزاء السد المختلفة والطول المطلوب منه في الجانب الأيسر لقطع دابر أي رشح حول النهاية البعيدة له. أما في الجانب الأيمن، فقد يتطلب إعادة النظر بالدراسة الهيدروجيولوجية التي قام بها الاستشاريين السويسريين لهذا الجانب لاختيار الطول والاتجاه الصحيح للدايفرام والعمق المطلوب هناك.

ثانيًا: إنجاز سد بادوش حيث يمكن لهذا السد الواقع مؤخر سد الموصل منع الكارثة الكبيرة التي تنتج من انهيار سد الموصل بعد التأكد من جيولوجية المنطقة.

إن سد بادوش وكما يفهم من واقع التنفيذ منجز بنسبة تتراوح بين (30% ـ 40%) للفقرات الرئيسية وكان من المفترض إنجازه في التسعينات من القرن الماضي. وربما يكون هناك بعض التساؤلات عن أسس السد وإمكانية وجود الجبسم والأنهايدرايت في أعماقها؛ لذا يتطلب النظر إلى هذا الأمر إذا ما تم تقييم السد. كما قد يكون هناك ضرورة لإعادة النظر بالتصاميم وتعديلها قبل المباشرة بالتنفيذ. وربما تدعو الحاجة أيضًا؛ لتنفيذ دايفرام في هذا السد أيضًا مما يتطلب الدراسة والتحقق من ذلك وإجراء تغيرات أخرى بالتصاميم. وفي كافة الأحوال يتطلب إعادة النظر في الكلفة المتوقعة لتنفيذ السد المذكور.

ثالثًا: الحل الهجيني (Hybrid Approach)، وقد يكون أكثر البدائل سلامة استخدام أسلوب الحل الهجيني للاستفادة من كل من سد الموصل وسد بادوش معًا، لفترة من الوقت والانتقال التدريجي نحو اعتماد سد بادوش كحل دائم.

ولتوضيح هذا الحل، يتم استخدام سد بادوش مبدئيًا وللفترة الأولى كسد صد من موجة فيضان انهيار سد الموصل المحتمل قبل الانتقال إلى الاستعمال الطويل الأمد. ويعني هذا الأمر فيما يعنيه بقاء خزان سد بادوش فارغًا تقريبًا، وفي الوقت نفسه إجراء ما يلزم لتأمين مياه الري لمشاريع الجزيرة مستقبلًا من سد بادوش، ثم المباشرة بتفريغ خزان سد الموصل تدريجيًا في خزان سد بادوش بصورة مسيطر عليها ودون انتظار اللحظة التي ينهار فيها سد الموصل، مع تأمين إمدادات المياه إلى مشاريع الجزيرة وكما سبق بيانه. بعد ذلك يكون سد الموصل قد استنفذ عمره الاقتصادي ويمكن إيقاف العمل به.

7 ـ الاستنتاجات

لقد عني هذا الفصل بدراسات تقييم سلامة سد الموصل منذ تبلورت فكرة إنشائه حتى اليوم، وقد تمت ملاحظة المخاطر الكبيرة التي يثيرها السد في وضعه الحالي، كما تطرق إلى الحلول اللازمة لتقليل هامش الخطورة المتأتية منه، وليس بالضرورة تأمين السد من الانهيار بدرجة كاملة، حيث إن ذلك يبدو غير ممكنًا. وقد تطرقنا حتى إلى إمكانية التخلي عن السد لصالح سد بادوش.

ويمكن أيضًا التوصل إلى الاستنتاجات التالية:

أولًا: إن موقع سد الموصل لا يمكن أن يوصف بأنه من المواقع الملائمة لبناء

سد بضخامة سد الموصل، على العكس من ذلك فهو يشكو من مشاكل خطيرة ناتجة عن وجود طبقات صخرية متكسرة ومتشققة ومتكهفة بالإضافة إلى وجود طبقات الصخور الجبسية والأنهايدرايت ذات القابلية العالية للذوبان ومنها الطبقات الجبسية المتشظية (Gypsum Breccias Brecciated gypsum) الرافضة لمواد التحشية، ومنها أيضًا طبقات الصخور الكلسية الشديدة التكهف والذائبة أيضًا، وإن كانت قابلية ذوبانها في الماء أقل من الصخور الجبسية. وقد أدى بناء السد وملْء الخزان إلى تسريع عملية الذوبان، وقد قادت إلى تطور الخسفات الأرضية التي هي الأخرى تهدد الآن استقرارية السد.

ثانيًا: نعتقد بأن إنشاء السد في هذا الموقع قد جاء نتيجة لأخطاء متراكمة وسوء تقدير من كافة الاستشاريين الذين عملوا في دراسة المنطقة وهذا الموقع بالذات. ولقد أدرك هؤلاء كافة ـ في وقتها ـ وجود الصخور الجبسية والأنهايدرايت بصورة واسعة في المنطقة، وحتى في أسس المحاور البديلة المختلفة التي قاموا بدراستها، إلا أنهم لم يقيّموا بصورة صحيحة تلك الأسس المتردية خاصة بوجود حالة الكارست القديمة والمتطورة فيها. وقد أوصى الجميع بمعالجة تلك الأسس بواسطة التحشية، لكننا نشك بأنهم كانوا يتوقعون سلوك طبقات الصخور الجبسية المتشظية الرافض الذي رأيناه، أو أنهم كانوا يمتلكون الخبرة الكافية في موضوع الصخور الجبسية بالذات، حيث ربما كانوا حينئذٍ سيوصون ببناء ستارة قاطعة موجبة (دايفرام) بدلًا من التحشية في وقت توفرت فيه إمكانيات ذلك.

إن هذا الأمر لا يعفي رب العمل بأي حال من الأحوال من مسؤوليته عن اتخاذه للقرار المتسرع بالمباشرة بتنفيذ السد قبل انتهاء آخر التحريات لجيولوجية الموقع، وفي وقت لم يحسم الجدل فيه موضوع صلاحية الأسس، وكما هو واضح من آراء أعضاء مجالس الخبراء العالِمين الذين تولوا تدقيق ما قدمه الاستشاريون خلال الثلاثين سنة التي سبقت ذلك.

ثالثًا: لقد اتضح خلال تنفيذ ستارة التحشية العميقة تحت السد وكذلك لاحقًا عند التشغيل، مدى مقاومة طبقات الصخور الجبسية المتشظية والأنهايدرايت لتلك التحشية. وأدى ذلك إلى المزيد من القلق وبذل الجهود للتوصل إلى غلق ما سمي حينذاك بالنوافذ في تلك الستارة، كما قاد إلى تنفيذ عمليات الصيانة عليها بصورة متواصلة ودون توقف خلال السنوات الماضية باستثناء ما حصل بعد آب (2014).

وبالرغم من كل ذلك، استمر ذوبان الصخور الجبسية والأنهايدرايت وازداد تآكل

الطبقات الكلسية مما أدى إلى إعادة التحشية مرارًا وتكرارًا في المناطق نفسها، وحتم ذلك تدهور حالة الطبقات الصخرية وانخفاض مؤشر النوعية لتلك الصخور.

إن استمرار هذه الحالة على المدى البعيد، سوف يقود حتمًا إلى تكوين خسفات أرضية داخل أسس السد، وبالتالي حصول هبوط في السد نفسه سواء تحت اللب أو تحت القشرة الأمامية أو الخلفية. كما أن عواقب مثل هذا الهبوط التراكمي معروفة وتتمثل بفتح مسالك للرشح تمتد خلال جسم السد، وبالتالي حصول ما يخشى منه وهو التآكل الداخلي للمواد الإملائية وتصدع جسم السد وانهياره.

رابعًا: لقد أظهرت الدراسات خلال السنوات الماضية، بأن أعمال صيانة التحشية ما هي إلَّا حل وقتي في أحسن الأحوال، ولا يمكنها من وقف حالة الذوبان الذي تجري حثيثًا في الأسس. وهي أيضًا تتسبب في إضعاف الحالة العامة للأسس من خلال تكرار العملية سنة بعد سنة في الوقت الذي تعطي فيه الشعور الكاذب بالأمان والسلامة.

خامسًا: إن الصورة الثلاثية الأبعاد لعملية الذوبان وتكوين التكهفات والفراغات وفي أعماق الأسس، ليست واضحة المعالم بصورة دقيقة، إلا أننا نعلم بحصولها من خلال القياسات والرصودات. لذا، يتطلب من العاملين اليقظة التامة والقيام بكل ما هو ممكن لتأشير الحالات السلبية من متابعة أعراضها. كما يعني تكثيف الجهود في قياسات مياه الرشح، وكذلك الاستمرار بتدقيق تراكيز الأملاح فيها من أجل مراقبة حالة الذوبان ورصد الهبوط في أجزاء السد ومنشآته المختلفة.

وتعتبر الآن مراقبة وحساب الإزاحات في جسم السد، سواء كانت أفقية أم عمودية من أهم تلك الرصودات، حيث تبين مدى استقرارية السد وسلامته على المديين القريب والبعيد. فقد كشفت الدراسات الأخيرة عن تسارع في هبوط السد وما يترتب عليه من إزاحات وخطورة كامنة؛ ومن تلك الدراسات البحث المنشور في مجلة (Nature)[38] العلمية عن سد الموصل، حيث كشفت الرصودات الفضائية التي أجريت عن هذا التسارع بعد توقف تحشية الصيانة في آب (2014).

ولا شك فإن مراقبة ورصد كفاءة ستارة التحشية المستمر بواسطة البيزومترات المنصوبة في رواق التحشية، هو أمر ضروري من أجل التدخل السريع لإصلاح أي خرق في الستارة، في الوقت المناسب والتقليل من الذوبان.

كل ذلك يجب أن لا يتم بمعزل عن مراقبة سلوك السد نفسه بواسطة أجهزة

التحسس الكثيرة التي زرعت في جسم السد عند التنفيذ ولاحقًا خلال السنوات الأخيرة. كما يعني ضرورة نصب عدد كبير آخر من هذه المجسمات وتنفيذ عدد متزايد من البيزومترات حول السد لمراقبة تطور حركة المياه واحتمالات تطور الخسفات.

سادسًا: في الوقت الذي تم فيه استعراض كافة الدراسات التي جرت والتي تخص سلامة سد الموصل، فمن الواضح أن السد لا يحقق الآن كافة معايير السلامة والأمان المطلوبة من سد بهذه الضخامة وبمثل هذا الحجم من الخزان بالدرجة المطلوبة، وبالأخص وأن هناك الملايين من الناس القاطنين في حوض النهر في المؤخر المعرضين للمخاطر في حالة فشل السد وانهياره.

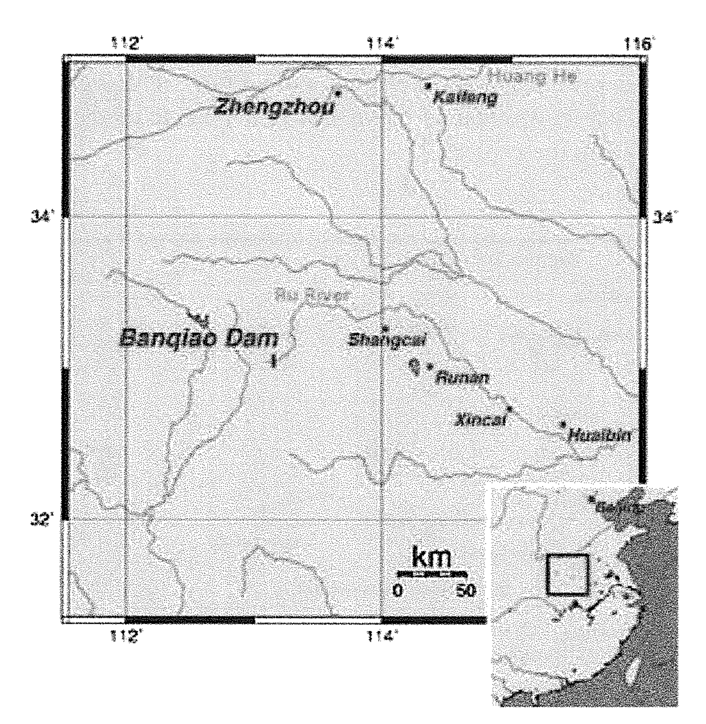
كما بدا من الواضح بأن استمرار تحشية الأسس لا يؤمن إلا حلًا وقتيًا قد يطيل عمر السد ولكنه لن يمنع انهياره في الأمد القريب أو البعيد والله أعلم، ناهيك على أن التحشية نفسها تساهم أيضًا بتدهور وضعية الصخور في الأسس.

إن كل هذا يعني: أن يتم التحرك الآن وفورًا نحو إيجاد الحل الدائم الذي يحقق معايير السلامة ويزيل الخطر المحدق، وقد استعرضنا كافة البدائل والحلول الدائمة المطروحة. وفي الوقت الذي نرى أن الحلول الأخيرة التي طرحت في ندوة ستوكهولم (أيار 2016) تشكل قاعدة جيدة للانطلاق نحو إيجاد الحل المطلوب إلا أننا لا نعتبرها ملزمة لأحد.

كما أن من واجب الجهات المسؤولة الآن، المباشرة فورًا بطرح قضية سد الموصل على الساحة العالمية من أجل طلب المساعدة لتأسيس صندوق دولي تساهم فيه الدول المانحة الغنية لتوفير المبالغ الطائلة المطلوبة لتنفيذ ما يتطلبه الموقف من دراسات موسعة تشمل كل ما يتعلق بالحماية والمعالجة ومن ثم تنفيذ الحلول المطلوبة. وندرك تمامًا بأن الحلول سوف تكون باهظة التكاليف ولن يكون بإمكان العراق وحده تحمل تلك التكاليف.

الهوامش

(1) **Banqiao Dam:** The **Banqiao Reservoir Dam** is a **dam** on the **River Ru** in **Zhumadian** City, **Henan** province, China. Its failure in 1975 caused more casualties than any other dam failure in history at an estimated 171,000 deaths and 11 million displaced. The dam was subsequently rebuilt.
The Banqiao dam and **Shimantan Reservoir Dam** are among 62 **dams** in **Zhumadian** that **failed catastrophically** or were intentionally destroyed in 1975 during **Typhoon Nina.**



Approximate location of Banqiao Dam

History

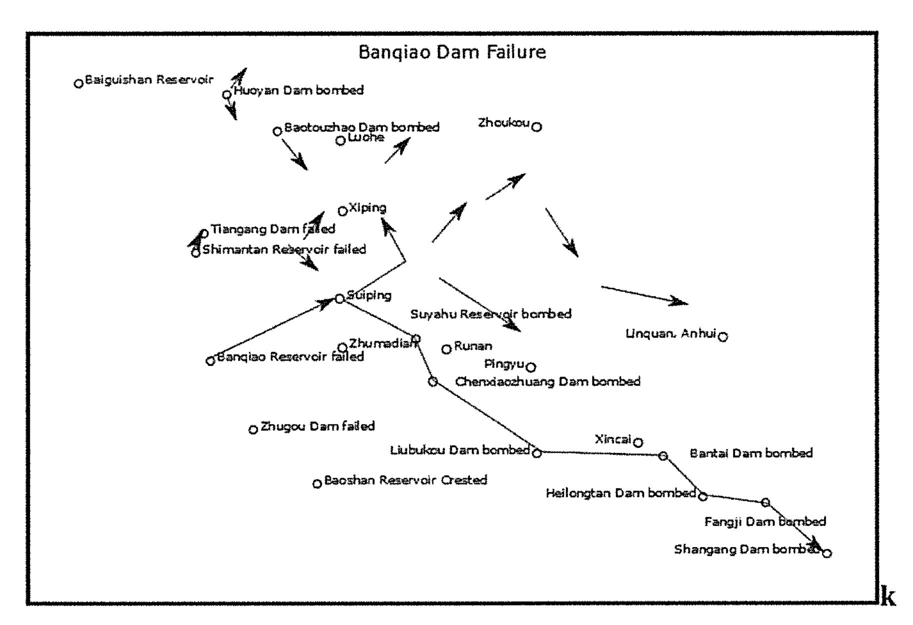
Construction of the Banqiao dam began in April 1951 on the Ru River with the help of Soviet consultants as part of a project to control **flooding** and perform **electrical power generation**. The construction was a response to severe flooding in the **Huai River** Basin in 1949 and 1950. The dam was completed in June 1952. Because of the absence of hydrology data, the design standard was lower than usual. After the 1954 **Huai River** great flood, the upstream reservoirs including Banqiao were extended, constructed, and consolidated. Banqiao Dam was increased in height by three meters. The dam crest level was 116.34 meters above sea level and the crest level of the wave protection wall was 117.64 meters above sea level. The total capacity of the reservoir was 492 million m^3 (398,000 acre feet), with 375 million m^3 (304,000 acre feet) reserved for **flood** storage. The dam was made of **clay** and was 24.5 meters high. The maximum discharge of the reservoir was 1742 m_2/s.

Cracks in the **dam** and **sluice gates** appeared after completion due to construction and engineering errors. They were repaired with the advice from **Soviet** engineers and the new design, dubbed the iron dam, was considered unbreakable.

Chen Xing one of China's foremost **hydrologists,** was involved in the design of the dam. He was also a vocal critic of the government's dam building policy, which involved many dams in the basin. He had recommended 12 sluice gates for the Banqiao Dam, but this was criticized as being too conservative, and the number was reduced to five. Other dams in the project, including the Shimantan

Dam, had a similar reduction of safety features and Chen was removed from the project. In 1961, after problems with the water system were revealed, he was brought back to help. Chen continued to be an outspoken critic of the system and was again removed from the project.

1975 Banqiao Dam Flood



Rough diagram of water flow during the Banqiao Dam failure

Officially, the dam failure was a natural as opposed to man-made disaster, with government sources placing an emphasis on the amount of rainfall as opposed to poor engineering and construction. ***The People's Daily*** has maintained that the dam was designed to survive a once-in-1000-years flood (300 mm of rainfall per day) but a once-in-2000-years flood occurred in August 1975, following the collision of **Typhoon Nina and a cold front**. The typhoon was blocked for two days before its direction ultimately changed from northeastward to westward. As a result of this near stationary thunderstorm system, more than a year's worth of rain fell within 24 hours (new records were set, at 189.5 mm (7.46 inches) rainfall per hour and 1060 mm (41.73 inches) per day, exceeding the average annual precipitation of about 800 mm (31.5 inches), which weather forecasts failed to predict. **China Central Television** reported that the typhoon disappeared from radar as it degraded. According to Xinhua, the forecast was for rainfall of 100 mm by the Beijing-based Central Meteorological Observatory.

Communication with the dam was largely lost due to wire failures. On August 6, a request to open the dam was rejected because of the existing flooding in downstream areas. On August 7 the request was accepted, but the **telegrams** failed to reach the dam. The sluice gates were not able to handle the overflow of water partially due to **sedimentation** blockage On August 7 at 21:30, the **People's Lib-**

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/

eration Army Unit 34450 (by name the 2nd Artillery Division in residence at **Queshan** county), which was deployed on the Banqiao Dam, sent the first dam failure warning via telegraph. On August 8, at 1:00, water at the Banqiao crested at the 117.94 m level above sea level, or 0.3 meter higher than the wave protection wall on the dam, and it failed. The same storm caused the failure of 62 dams in total. The runoff of Banqiao Dam was 13,00 m^3 per second in vs. 78,800 m^3 per second out, and as a result 701 million m^3 of water were released in 6 hours, while 1.67 billion m^3 of water were released in 5.5 hours at an upriver Shimantan Dam, and 15.738 billion m^3 of water were released in total.

The resulting flood waters caused a wave 10 kilometers (6.2 mi) wide and 3-7 meters (9.8-23.0 ft) high in **Suiping** that rushed onto the plains below at nearly 50 kilometers per hour (31 mph), almost wiping out an area 55 kilometers (34 mi) long and 15 kilometers (9.3 mi) wide, and creating temporary lakes as large as 12,000 square kilometers (4,600 sq mi). Seven county seats, Suiping, **Xiping, Ru'nan, Pingyu, Xincai Luohe**, and **Linquan** were inundated, as were thousands of square kilometers of countryside and countless communities. **Evacuation orders had not been fully delivered due to weather conditions and poor communications.** Telegraphs failed, signal flares fired by Unit 34450 were misunderstood, telephones were rare, and some messengers were caught by the flood. While only 827 out of 6,000 people died in the evacuated community of Shahedian just below Banqiao Dam, half of a total of 36,000 people died in the un-evacuated Wencheng commune of Suipin County next to Shahedian, and the Daowencheng Commune was wiped from the map, killing all 9,600 citizens. Although a large number of people were reported as lost at first, many of them later returned home. A 2005 book compiled by the Archives Bureau of Suiping county reports that more than 230,000 were carried away by water, in which 18,869 died. It has been reported that 90,000-230,000 people were killed as a result of the dam breaking.

To protect other dams from failure, several **flood diversion areas** were evacuated and inundated, and several dams were deliberately destroyed by air strikes to release water in desired directions. The Nihewa and Laowangpo flood diversion areas downstream of the dams soon exceeded their capacity and gave up part of their storage on August 8, forcing more flood diversion areas to begin to evacuate. The dikes on the **Quan River** collapsed in the evening of August 9, and the entire Linquan county in **Fuyang, Anhui** was inundated. As the Boshan Dam, with a capacity of 400 million m^3, crested and the water released from the failures of Banqiao and Shimantan was rushing downstream, air strikes were made against several other dams to protect the **Suya Lake** dam, already holding 1.2 billion m^3 of water. Suya Lake won only a temporary reprieve, as both it and Boshan became eventual targets. Finally, the **Bantai Dam,** holding 5.7 billion m^3 of water, was bombed.

The **Jingguang Railway**, a major artery from **Beijing** to **Guangzhou**, was cut for 18 days, as were other crucial communications lines. Although 42,618 **People's**

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/

Liberation Army troops were deployed for disaster relief, all communication to and from the cities was cut. Nine days later there were still over a million people trapped by the waters, which relied on **airdrops** of food and were unreachable to disaster relief. Epidemics and famine devastated the trapped survivors. The damage of the Zhumadian area was estimated to be about CN¥ 3.5 billion (US$513) million The Zhumadian government appealed to the whole nation for help, and received more than CN¥ 300 million (US$44,000,00) in donations.
After the flood, a summit of National Flood Prevention and Reservoir Security at Zhengzhou, Henan was held by the Department of Water Conservancy and Electricity, and a nationwide reservoir security examination was performed. Chen Xing was again brought back to the project.

Casualties:

According to the Hydrology Department of Henan Province, approximately 26,000 people died at the province from **flooding** and another 145,000 died during subsequent **epidemics** and **famine**. In addition, about 5,960,000 buildings collapsed, and 11 million residents were affected. Unofficial estimates of the number of people killed by the disaster have run as high as 230,000 people The death toll of this disaster was **declassified** in 2005.
(**Source**: Wikipedia: The Free Encyclopedia).

References / المصادر

[1] ICOLD Committee on Failure and Accidents to Large Dams. "Lessons from Dam Incidents". Paris, 1974.

[2] ASCE/USCOLD joint publication. "Lessons From Dam Incidents, USA.". ASCE. New York. N.Y. pp. 6-16, 29-89, 1974.

[3] ASCE. " Inspection, Maintenance, and Rehabilitation of Old Dams". Selected papers from Engineering Foundation Conference Proceedings, September 23-28, 1973, ASCE. New York, N.Y., 1974.

- Summary of Section on Federal Inspection Activities, pp. 67-75.
- Summary of State Experiences in Dam Safety Regulation, pp. 86-104.
- Summary of International Experiences, pp.262-271.
- Summaries of Sessions on Hydrology and Spillways, pp 273-281.
- Safety Appraisal of Old Dams: An Updated Perspective. Pp. 404-417.
- Mechanical Equipment, Problems on Old Dams, pp. 440-450.
- Underwater Inspection by Submarine, pp. 463.
- Summary of Workshop on Foundations, pp. 541-556.
- When is Foundation Seepage Unsafe?, pp.570-583.
- Foundations of Existing dams-Seepage Control.pp.584-608.
- Stability of Old Dams as Related to Their Foundations, pp.688-696.
- General Report on Seismic Hazards and Problems. Pp. 745-767.
- Potential Active Faults in Dam Foundations, pp. 768-770.
- Inspection, Maintenance, and Remedial Treatment; San Francisco Water Department, pp. 849-870.
- Resolutions, pp. 905-906.

[4] Henniker, N.H "Safety of Small Dams". Engineering Foundation Conference Proceedings. August 4-9, 1974, ASCE. New York, N.Y.,1975.

[5] Engineering Foundation Conference Proceedings. "Responsibility and liability of Public and Private Interest on Dams". September 28-October 3, 1975, ASCE, New York, N.Y, 1976.

[6] Engineering Foundation Conference Proceedings. "Evaluation of Dam Safety" November 28-December 3, 1976, Pacific Grove, Calif, ASCE, New York, N.Y., 1977.

[7] United State Bureau of Reclamation. "Safety Evaluation of Existing Dams". A Water Resources Publication, Denver. Reprint, 1995.

[8] Washington State Department of Ecology. "Dam Safety Guidelines.Part II, Project Planning and Approval of Dam Construction or Modification". Water Resources Program. Dam Safety office. July 1992 (Revised February 1998).

[9] Washington State Resources Program of Ecology "Dam Safety Guidelines: Part IV: Dam Design and Construction". Water Resources Program. Dam Safety office, July 1993.

[10] Luga R.,1986, Report on Visit in February 1986 Concerning Grouting Works, GEOCONSEIL, Ministry of Irrigation, Baghdad, Iraq, 1986.

[11] Binnie and Partners, 1987, Mosul Dam Foundation Cut-off, Report, Ministry of Irrigation, Baghdad, Iraq, Sept. 1987.

[12] IBOE, 1989, International Board of Experts, Interim Meeting report, Ministry of Irrigation, Baghdad, Iraq, January 1989.

[13] Markov, G. and Dimitrov, N., 1995, Experts site visit report, Agrocomlekt-Sofia, Ministry of Irrigation, Baghdad, Iraq, Dec.1995.

[14] Washington Group International & Black and Veatch JV. Mosul Dam Study-Task Order No 8.Final Report.August.2005.

[15] Adamo N, Alansari N. "Mosul Dam Full Story: Safety Evaluations of Mosul Dam". Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering, vol.6, no. 3, 2016, 185 - 212. ISSN: 1792 - 9040 (print version), 1792 - 9660 (online) Scienpress Ltd, 2016.

[16] Ministry of Water Resources, 2006, "Board of Expert Report No.1.On Mosul Dam Project". Feb. 2006. Baghdad, Iraq.

[17] Daniel Pipes Middle East Forum. "The latest about Mosul Dam. Nov.4, 2011 update". http://www.danielpipes.org/blog/2007/11/the-latest-about-mosul-dam.

[18] El Concord LLC. Paul C Rizzo, Energoprojekt, Med Ingeneria jv. "Badush Dam Project, Analysis of Existing Works and Recommendations. Phase A". Ministry of Water Resources January 2009.

[19] El Concord LLC. Paul C Rizzo, Energoprojekt, Med Ingeneria jv. "Badush Dam Project, Phase "B" Volume 1, Hydraulic. Design Verification, May, 2009.

[20] Kelly J.R, Wakeley L.D, Broadfoot S.W, Pearson M.L, MaGrth C.J, McGill M.T, Jorgeson J.D, Talbot C.A., 2007, "Geologic Setting of Mosul Dam and its Engineering Implications" USACE-Engineer and Development Center. September 2007.

[21] EDR Engineering Consultants/ Team International. JV, 2014, "Badush Dam, Final Feasibility Study Report". October, 2014.

[22] The Washington Post News Paper. "This What Could Happen if the Islamic State Destroys Mosul Dam". 8, Aug.2014. https://www.washingtonpost.com/news/checkpoint/wp/2014-/08/08/this-is-what-could-happen-if-the-islamic-state-destroys-the-mosul dam/?utm_term = .fed-8cc2c7c68

[23] CBN News. "Mosul Dam a ticking Bomb in Terrorists hands". 9, Aug. 2014, http://www1.cbn.com/cbnnews/world/2014/August/Mosul-Dam-Ticking-Bomb-in-Terrorists-Hands

[24] MaCleanathan J.T. "Update for Screening Portfolio Risk Analysis for U.S Army Corps of Engineers". Risks and Reliability Directorate. USACE. 2009.

[25] Al-Abayachi S. "Report on Mosul Dam" Iraqi House of Representatives. The Agriculture, water, and Marshes Sub-Committee. https://drive.google.com/file/d/0Byn0PFg9wZ5FNHN-QUmxLb0JzenM/view.

[26] Reuters. "Iraq Signs a Contract with Italy's Trevi to Maintain Mosul Dam". March 2. 2016. http://af.reuters.com/article/commoditiesNews/idAFL8N16A3IF.

[27] Luleå University of Technology. "The Most Dangerous Dam in The world" http://www.ltu.se/research/subjects/Geotechnical-engineering/Nyheter-och-aktuellt/Varldens-farligaste-damm-1.123202?l = en.

[28] Sissakian, V., Al-Ansari, N.A., Issa, I.E., Adamo, N. and Knutsson, S., 2015, Mystery of Mosul Dam the most Dangerous Dam in the World: General Geology, J.Earth Sciences and Geotechnical Engineering, 5, 3, 1-13.

[29] Al-Ansari, N.A., Issa, I.E., Sissakian, V., Adamo, N., and Knutsson, S., 2015, Mystery of Mosul Dam the most Dangerous Dam in the World: The project, J.Earth Sciences and Geotechnical Engineering, 5, 3, 15-31.

[30] Al-Ansari, N.A., Adamo, N., Issa, I.E., Sissakian, V., and Knutsson, S., 2015, Mystery of Mosul Dam the most Dangerous Dam in the World: Karstification and Sinkholes, J.Earth Sciences and Geotechnical Engineering, 5, 3, 33-45.

[31] Adamo, N., Al-Ansari, N.A., Issa, I.E., Sissakian, V., and Knutsson, S., 2015, Mystery of Mosul Dam the most Dangerous Dam in the World: Problems Encountered During and after Impounding the Reservoir, J. Earth Sciences and Geotechnical Engineering, 5, 3, 47-58.

[32] Adamo, N., Al-Ansari, N.A., Issa, I.E., Sissakian, V., and Knutsson, S., 2015, Mystery of Mosul Dam the most Dangerous Dam in the World: Foundation Treatment during Construction, J.Earth Sciences and Geotechnical Engineering, 5, 3, 59-69.

[33] Adamo, N., Al-Ansari, N.A., Issa, I.E., Sissakian, V., and Knutsson, S., 2015, Mystery of Mosul Dam the most Dangerous Dam in the World: Maintenance Grouting, J.Earth Sciences and Geotechnical Engineering, 5, 3, 71-77.

[34] Adamo, N., Al-Ansari, N.A., Issa, I.E., Sissakian, V., and Knutsson, S., 2015, Mystery of Mosul Dam the most Dangerous Dam in the World: Experts Proposals and Ideas on Mosul Dam, J.Earth Sciences and Geotechnical Engineering, 5, 3, 79-93.

[35] Al-Ansari, N.A., Adamo, N., Issa, I.E., Sissakian, V., and Knutsson, S., 2015, Mystery of Mosul Dam the most Dangerous Dam in the World: Dam Failure and its Consequences, J. Earth Sciences and Geotechnical Engineering, 5, 3, 91-111.
[36] Al-Ansari N, Adamo N. Sassakian V. Knutsson S.2015, "Geological and Engineering Investigation of the Most Dangerous Dam in the World". Scienpress Ltd., London, ISBN: 978-0-9934819.
[37] Luleå Technical University of Sweden, 2016, "Final Statement on Mosul Dam Workshop". 24-25 May, 2016.Stockholm.
[38] Milillo P.,Bürgmann R., Lundgren P., Salzer J., Perissin D., Fieldin E.,Biondi F. and Milillo G. "Space geodetic monitoring of engineered structures: The ongoing destabilization of the Mosul dam, Iraq". Nature, Scientific Reports, doi: 10.1038/srep37408.
http://www.nature.com/articles/srep37408.



الفصل الحادي عشر

دراسات الانهيار الافتراضي لسد الموصل ونتائجه

1 ـ المقدمة

سبق لنا في الفصل العاشر الحديث عن أهمية تدقيق سلامة السدود القائمة أو التي هي قيد الدراسة والتنفيذ، ووضحنا المخاطر والكوارث التي قد يسببها فشل وانهيار تلك السدود سواء على البشر أو الممتلكات، كما استرسلنا في ضرورة اتخاذ أقصى درجات الدقة في أعمال التحريات والتصاميم والتنفيذ من ناحية، والتشغيل الحذر والآمن بعد ذلك.

لقد أصبح من الواضح الآن، وبعد كل ما قيل وكتب عن سد الموصل بأنه لا يتمتع بكافة شروط السلامة والأمان، وحتى كما جاء في بعض الدراسات الأخيرة هو في حالة خطرة وإنه على وشك الانهيار. ونشير هنا بالذات إلى الدراسة التي قام بها الفريق الأمريكي المشترك بقيادة فيلق المهندسين في الجيش الأمريكي سنة (2015) والتي أشرنا إليها في الفصل العاشر[1].

مهما يكن من أمر، فإن من المناسب هنا أن نبين بأن معظم دول العالم تقوم عادة بدراسات محاكاة (Simulation) لحالات الانهيار الافتراضي لأي سد يقام على أراضيها كإجراء روتيني يمكّن الجهات المسؤولة من معرفة تداعيات انهيار ذلك السد على المواطنين القاطنين في مجرى النهر وحجم الأضرار الحاصلة واتساع الرقعة المتضررة. ولا يعني إجراء هذه الدراسة حتمية وقوع هذا الحدث، بل الهدف منه التأكيد على ما يتوجب القيام به باتخاذ أقصى درجات الدقة في التحريات والتصاميم والتنفيذ. وفي ذات الوقت، يعني ضرورة قيام الجهات المسؤولة بوضع خطط الطوارئ لمواجهة الأزمه حتى وإن كان احتمال وقوعها أقرب إلى المستحيل (!).

مما تقدم، نرى بأن العديد من دول العالم قد وضعت تشريعات وقوانين للقيام بدراسة الانهيار الافتراضي لأي سد فيها، وفي الوقت نفسه وضعت خطة الطوارئ لمواجهة الأزمة المفترضة، هذا من جهة. كما تم وضع خطط طوارئ لا تقتصر

على مثل هذا الحدث بل كل الكوارث الأخرى المحتملة، كالزلازل والتلوث الإشعاعي والصناعي والسّمّي وغيرها.

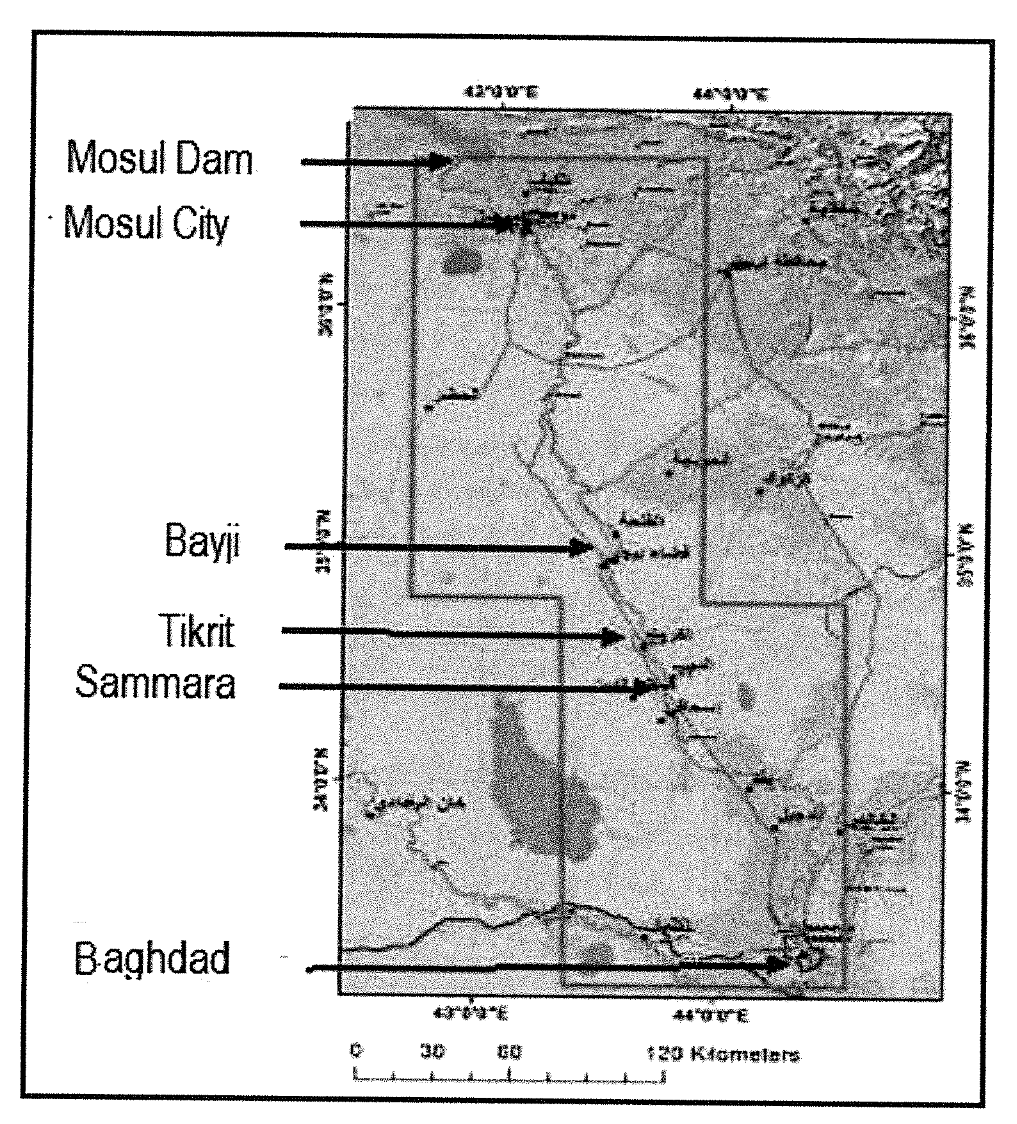
نحن لا نشك مطلقًا بأن الحكومات العراقية المتعاقبة وعلى الرغم من غياب خطط جاهزة لديها حسب علمنا لمواجهة الكوارث، إلا أنها كانت ولا تزال تشعر بواجبها الأدبي والمعنوي تجاه شعبها لمواجهة تلك الكوارث، ويكون من الأفضل أن يكون لها خطط طوارئ مفصّلة لكل ما يمكن أن يحدث لجعل معالجات الآثار أكثر نفعًا، وتقليل الأضرار بصورة أكبر.

من المنطلق المذكور، فقد قامت وزارة الري بإجراء دراسة للانهيار الافتراضي لسد الموصل والموجة الفيضانية الناتجة عنه وكما سيتم تفصيله، كما قامت جهات أخرى لاحقًا بإجراء مثل هذه الدراسة. لذا، فسوف يتم استعراض الدراسة الأولى مع إجراء المقارنة مع باقي الدراسات، حيث لا يمكن أيضًا إغفال أي من الدراسات التي عالجت تداعيات هذا الحدث الخطير من أجل الحصول على التصور الكامل للنتائج الكارثية الناجمة عنه.

2 ـ دراسة الاستشاريون السويسريون (1984)

بادرت وزارة الري بعد فترة من توقيع عقد دراسات وتصاميم سد الموصل مع الاستشاريين السويسريين إلى توقيع ملحق للعقد الأصلي تم بموجبه تكليفهم بإجراء دراسة لمحاكاة انهيار سد الموصل الافتراضي والموجة الفيضانية الحاصلة أعقاب ذلك في وقت لم يكن هناك ما يشير أبدًا إلى إمكانية حصول المشاكل التي حصلت لاحقًا أو احتمال وقوع الانهيار. وقد كان توقيع الملحق ينبع من الشعور بالمسؤولية أولًا، ومن مسايرة التوجه العالمي للقيام بمثل هذه الدراسات كما أسلفنا، ثانيًا. وقد تم إنجاز الدراسة المطلوبة وقدم التقرير بثلاث أجزاء في سنة (1984)[2][3][4].

تضمنت الدراسة القيام بإجراء مسح طوبوغرافي لحوض نهر دجلة الفيضاني ورصد المقاطع العرضية لهذا الحوض بفترة قدرها (1) كيلومتر ابتداءًا من أعلى نقطة متوقع أن يصلها الخزان لغاية مدينة سلمان باك جنوب مدينة بغداد. كما تم رصد المقاطع العرضية لروافد النهر لبعض المسافات لبيان امتدادات تأثير الموجة واندفاعها في مجاري تلك الروافد، ولم تتوفر في ذلك الوقت التطبيقات المعروفة الآن لنظم المعلومات الجغرافية (GIS) في المسح الطوبوغرافي. وفي الشكل رقم (1) المنطقة التي غطتها هذه الدراسة.



شكل 1: منطقة الدراسة لموجة الفيضان

وقد نوّه الاستشاريون السويسريون في مقدمة الدراسة، بأن انهيار سد الموصل هو أمر بعيد الاحتمال نظرًا لتصميمه المتضمن كل الاحتياطات الوقائية، إلا أن التقرير وضع الخطوط العريضة لكارثة قد يكون من الممكن وقوعها إذا ما أهملت إجراءات الوقاية والصيانة المطلوبة أو تراخت حسب تعبيره، فهو بهذا شدد على إجراءات التحقق الدوري من سلامة السد ومراقبة سلوكه.

ومن المفيد أن نذكر بأن كل شيء كان يسير بصورة طبيعية سواء في إجراءات التصاميم أو التنفيذ خلال المراحل الأولى من تنفيذ العمل، ولم يكن هناك ما يشير

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press /سحب ثالث/ سد الموصل/

إلى مشاكل ذوبان الصخور الجبسية والتي بدأت بالظهور لاحقًا. وقد تجلّت تلك المشاكل عند حصول الرشح وتطور الكارست وظهور الخسفات الأرضية التي تكشفت على السطح، وكذلك تعثر عمليات تحشية الستارة تحت جسم السد، وبالأخص في مقطع النهر القديم.

وبتراكم تلك المشاكل وتعدد الدراسات والاجتهادات، بدأت دراسة الانهيار الافتراضية التي قام بها هؤلاء الاستشاريون تأخذ درجة عالية من الأهمية، كما قامت جهات أخرى بعد ذلك بدراسات لاحقة على الموضوع نفسه وكما بيّنا سابقًا.

إن الهدف هنا ليس الخوض بكل تفاصيل الدراسة الدقيقة التي وردت في الأجزاء الثلاثة لها، وإنما التطرق إلى بعض الجوانب المهمة منها ولتأكيد الحقيقة بأنها أصبحت أساسًا للدراسات التي جرت بعدها.

تضمنت الدراسة وصفًا للنموذج الرياضي الذي استخدم في نمذجة الانهيار، وكذلك نمذجة انطلاق الموجة من السد المنهار، وسيناريوهات الانهيار المتوقعة، وطريقة معايرة هذا النموذج بالنسبة للموجة الفيضانية بتدقيق النتائج على فيضانات عالية مختارة من الفيضانات المسجلة فعلًا، كما احتوت شرحًا لكل ما استخدم من فرضيات في الحسابات الهيدروليكية. وأخيرًا، فقد جرى تتبع الموجة بتسليكها على طول مجرى النهر وفي العقد المتمثلة بمصبات الروافد والمضيق في تقاطع النهر مع جبل مكحول وسدة سامراء وحتى جنوب بغداد في منطقة سلمان باك.

اعتمدت الدراسة استخدام نظام (FLORIS) الرقمي للجريان وهو مختصر العنوان الكامل للنموذج وهو (الجريان في منظومات الأنهارFlow in River Systems).

والنظام المذكور أحادي الأبعاد، إلا أن بإمكانه أن يولد شبكة لتبادل المعلومات في الاتجاهين الطولي والعرضي وبذلك يستطيع تمثيل حالة النهر في البعدين في أي برهة من الزمن. وكما هو معتاد في النماذج المماثلة، فإن الخطوة الأولى تتضمن تمثيل مسار النهر تحت الدراسة (Schematization)، ثم يجري بعدها تحليل النظام القائم فيه من منشآت وروافد وتفرعات، إضافة إلى إدخال منحنيات المياه الخلفية التي تسببها هذه المنشآت والروافد في العقد المتعددة والقطاعات المختلفة على المجرى (Back water Curves).

وباستعمال معادلات سانت ـ فينانت (Saint-Venant) للجريان، يمكن تمثيل كل قطاع من المجرى بمجموعة من معادلات الفروقات المحددة (Finite Difference Equations). وفي كل قطاع (ΔX) من النهر يتم تقريب معادلات سانت ـ فينانت بمجموعة من المعادلات غير الخطية من معادلات الفروقات المحددة المشار إليها

سابقًا ولكل خطوة زمنية، ثم يتم حلها بعدئذ بخطوات متكررة بطريقة نيوتن ـ رافسون (Newton-Raphson Method). ويمكن أن يكون الطول (ΔX) متباينًا كما يمكن أن يمثل موقع معين، مثل تقاطع للنهر مع أحد روافده أو يمكن أن يمثل جسرًا أو منشأ هيدروليكيًا على النهر. وفي حلّ النموذج في تلك العقد، يتم التعويض عن معادلات سانت ـ فينانت بإدخال شروط الحدود (Boundary Conditions) واستعمال المعادلات الهيدروليكية الحاكمة.

لم يقتصر الاستشاري عند تطبيق النظام (فلورس) باستعماله لنمذجة النهر والموجة المتقدمة فيه في مؤخر السد، بل طبّقه أيضًا على الخزان في مقدم السد حيث سبق أن قام بمسح (40) من مقاطع النهر ضمن منطقة الخزان كما أوردنا سابقًا، وبالتالي فقد اعتبر بأن هذا الجزء يمثل قطاعًا بحد ذاته وذلك من أجل إيجاد الهيدروكراف الكامل للموجة الفيضانية.

ولكي يكون النموذج الرياضي الذي حصل عليه الاستشاري مطابقًا لواقع حال نهر دجلة، فقد قام بمعايرته من أجل إعطائه الموثوقية التامة لتمثيل الواقع الحقيقي لهيدرولوجية النهر. وقد تضمنت هذه المعايرة إدخال هيدروغرافات لفيضانات كبيرة توفرت لها تسجيلات كاملة من القياسات في محطات القياس على نهر دجلة وروافده، وهي فيضانات (1964) و(1969) و(1974)، ثم مطابقة النتائج مع تلك التسجيلات.

وكانت النتائج التي تم الحصول عليها على درجة كبيرة من هذا التطابق عند استعمال معامل خشونة «ماننغ» (Manning) لمجرى النهر (n) بقيمة (0,027). إلا أن الاستشاري أدرك في الوقت نفسه، بأنه عند دراسته للموجة الفيضانية يتطلب استقراء قيمه أعلى لهذه المعامل عن قيمتها في نمذجة هذه الفيضانات. أما السبب في ذلك، فهو واضح، حيث إن مقاومة الجريان عند تقدم الموجة الفيضانية الناتجة عن الانهيار تكون أكبر بكثير منها في حالة تلك الفيضانات، ويعزى ذلك إلى اتساع المساحات المغمورة من الأراضي المستغلة والمسكونة وازدياد العوارض الطبيعية التي تتصدى للموجة في طريقها. وقد استنتج الاستشاري بأن قيمة (n) بمقدار (0,033) هي أقرب إلى الواقع في حالة جريان الموجة الفيضانية، ويمكننا أن نلاحظ بأن هذه القيمة تتوافق مع ما ورد من توصيات واردة في المصادر المتخصصة[5].

بالإضافة إلى ما سبق، فقد أجرى الاستشاري دراسة لتحليل حساسية النتائج للتغيير في قيمة معامل «ماننغ» ووجد بأن ارتفاع الموجة عند تقدمها في مدينة الموصل ـ على سبيل المثال ـ سوف يزداد بمقدار (8%) عند استعمال قيمة معامل

خشونة يساوي (0,050) عن الارتفاع عند استعمال قيمة (0,033)، بينما ستنخفض ذروة التصريف في تلك الحالة بمقدار (14%)، أما وقت وصول الموجة فسيزداد من (3) ساعات إلى (3,6) ساعة. وعليه، تبنّى الاستشاري في حساباته قيمة (0,033) لكونها تعطي وقت إنذار أقصر، مما يعني أنها تعطي نتائج أكثر تحفظًا.

إن المتغيرات المهمة الأخرى التي تؤثر في نتائج الدراسة هي أبعاد وشكل الفتحة المؤدية للانهيار وأسباب ذلك الانهيار، وقد بين الاستشاري بأنه لا يمكن تصور حدوث الانهيار بسبب الأعمال الحربية أو بسبب عدم استقرارية جسم السد نفسه حيث قد تم أخذ هذين العاملين بنظر الاعتبار عند تصميم السد.

لذا، فإن السبب الوحيد المعقول للانهيار هو وجود مشاكل في الأسس، وبالتالي فإن تطور الفتحة الأولية في قاعدة السد سيؤدي بالنتيجة إلى تطور الحالة وانهيار جزء من السد، وثم انجراف ما تبقّى منه لاحقًا مما يعني افتراض حصول انهيار تام للسد.

ومن أجل الدراسة، تم افتراض حالتين لعرض الفتحة السفلى:

الافتراض الأول: يعتمد عرض سفلي يساوي طول مقطع النهر البالغ (700) متر.

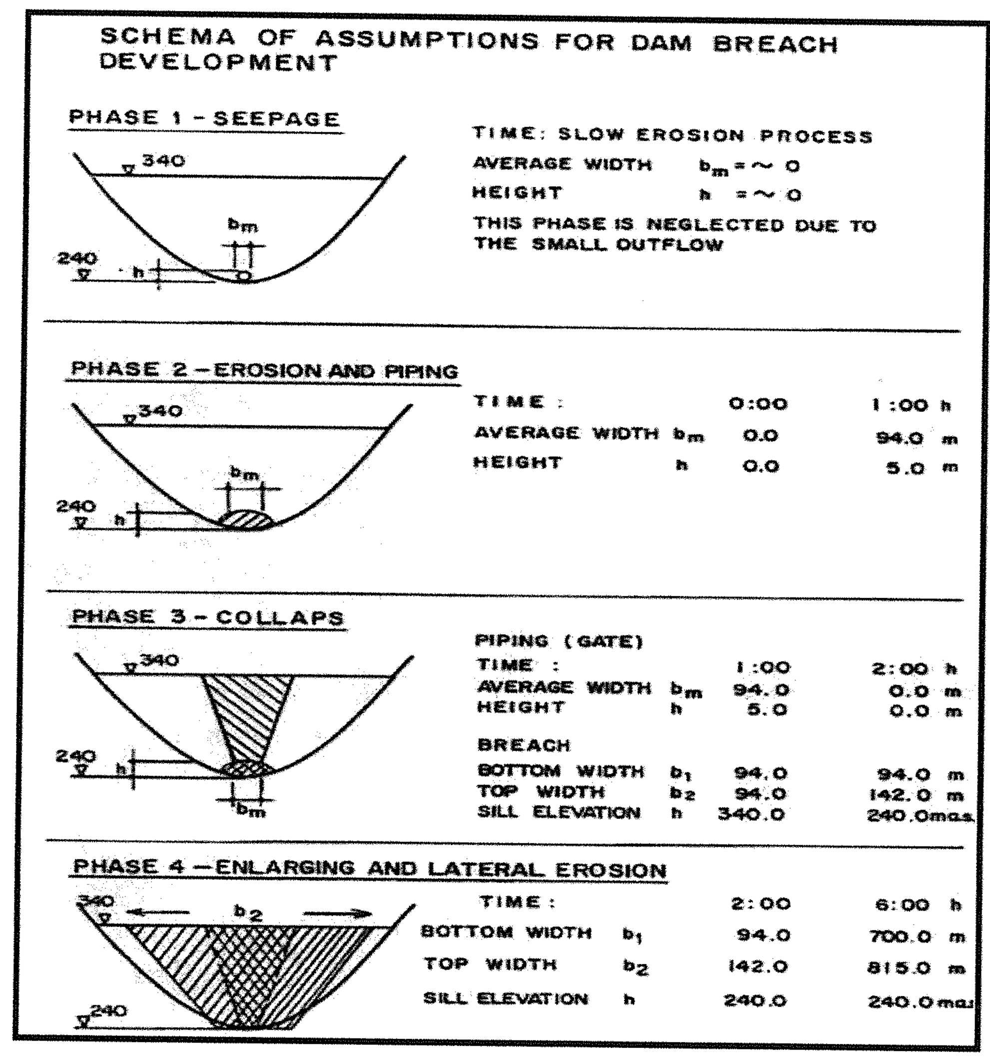
بينما يفترض الثاني عرض الفتحة بما يساوي ضعف الارتفاع أي (200) متر باعتبار ارتفاع الماء يساوي (100) متر. ويستند الافتراض الثاني على توصيات فيلق المهندسين الأمريكيين حسب خبرتهم السابقة والتي تعتمد عرض الفتحة السفلي بضعف مقدار الارتفاع وعرض الفتحة العلوي بأربعة أمثال الارتفاع أي (400) متر كما في هذه الحالة.

قدّر الاستشاري واستنادًا على حجم الخزان الكبير جدًا، بأن عرض الفتحة البالغ (700) متر هو الأرجح والأقرب إلى الوقوع ورأى بأن تطور الفتحة سيتم نتيجة حصول رشح من قاعدة السد نظرًا لخلل أو ضعف في الأسس. كما بيّن، بأن معدل هذا الرشح سيكون قليلًا في البداية في مناطق صغيرة في مؤخر السد بمستوى منسوب القاعدة ثم يتطور تدريجيًا إلى أنابيب متدفقة تؤدي إلى غسل وتعرية مواد السد، وبعد تطور هذه الأنابيب باتجاه المقدم، فإنها سوف تخترق جسم السد بالكامل لتتصل بالخزان نفسه بصورة مباشرة.

وتشير الأدبيات المنشورة عن انهيارات بعض السدود، بأن مساحة المنطقة الرطبة المتأثرة بالنضوح سوف تتطور وتشمل حوالي عشر مساحة المقطع؛ أي: في مثل حالة سد الموصل فإن عرض المنطقة المتأثرة سوف يبلغ بحدود (94) مترًا وبارتفاع (50) مترًا قبل أن يبدأ الجزء الواقع فوق هذه المنطقة بالتأثر أيضًا، ثم الامتداد تصاعديًا

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/

حتى الوصول إلى قمة السد وبشكل منشور انحداراته الجانبية تساوي (15°) مع الشاقول. وأخيرًا، فإن ثقل هذا المنشور سيتغلب على مقاومة القص لكتلة الإملائيات مما يؤدي إلى انهياره دفعة واحدة مكونًا الفتحة الابتدائية للانهيار وتدفق مياه الخزان بقوة واتساع الفتحة بسرعة وتآكل الجانبين. أما أبعاد الفتحة النهائية (الكسرة)، فستكون (700) متر في قاعدة السد وذات ميول جانبية تساوي (0,7) عمودي إلى (1) أفقي مما يجعل عرض الفتحة في قمة السد بحدود (850) مترًا، كما تبلغ المساحة الكلية للفتحة (77500) متر مربع. ويوضح الشكل رقم (2) مراحل تطور هذه العملية.



شكل 2: مراحل تطور الفتحة (الكسرة)

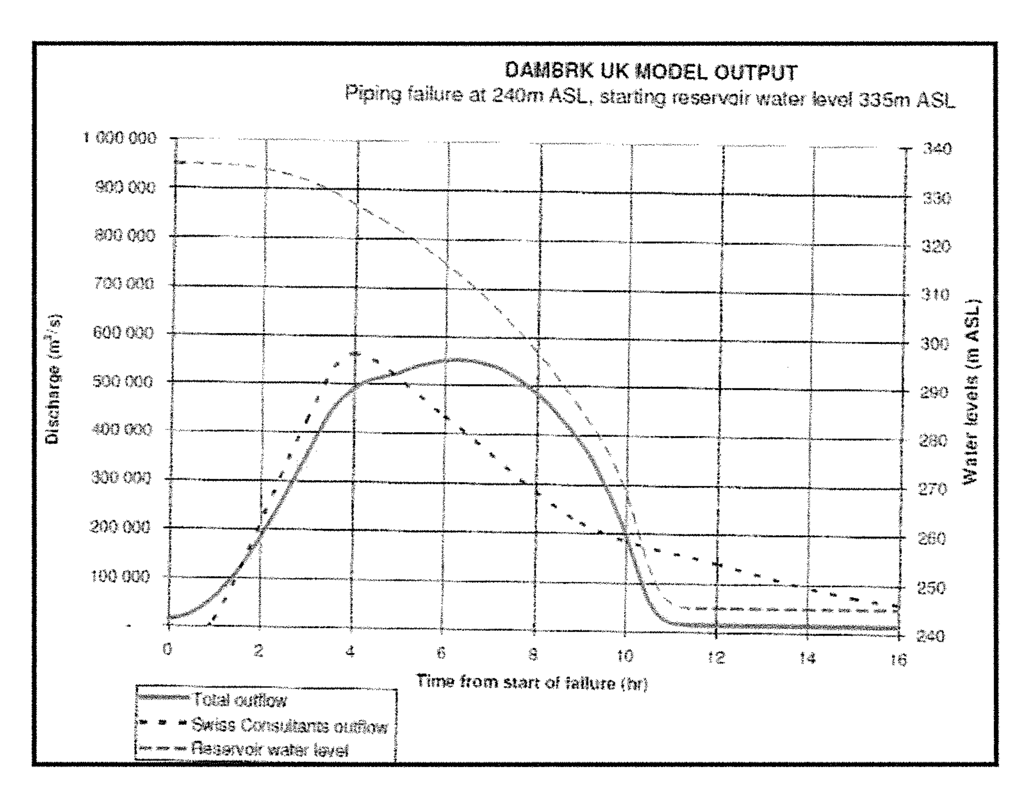
ولا بد لنا هنا من الإشارة إلى قيام الاستشاريون بلاك أند ڤيتش المشاركون مع شركة واشنطن كروب إنترناشونال سنة (2005) بمراجعة حالة السد بموجب العقد الموقع بينهم وبين مديرية المشاريع في سلطة التحالف المؤقتة المسؤولة عن إدارة شؤون العراق بعد احتلاله سنة (2003). وتضمنت تلك المراجعة دراسة وتدقيق تقرير دراسة الانهيار الافتراضي لسد الموصل والموجة الفيضانية الناتجة عنه والتي قام بها الاستشاريون السويسريون وقدموا حصيلة دراستهم ضمن ملحق للتقرير الكامل الذي قدمته الشركتان في آب (2005)[6].

وقد استخدمت شركة بلاك أند ڤيتش في مراجعتها أسلوبًا مختلفًا للنمذجة بفصل نمذجة تطور هيدروغراف الفتحة والانهيار عن نمذجة هيدروغراف انطلاق الموجة نفسها وتقدمها عبر النهر. وكان النموذج المستعمل لمحاكاة الانهيار هو النموذج (DAMBRKUK) الذي يعتبر نسخة مطورة من النموذج الأصلي (DAMBRK) والذي سبق أن تم وضعه من قبل (D L Fread) وكان قيد الاستعمال لدى دائرة خدمات المناخ في الولايات المتحدة (US Weather Service). وقد قام بتطوير النموذج (DAMBRKUK) شركة بني ومشاركوه (Binnie & Partners) بالاشتراك مع جامعة برادفورد (Bradford University) لجعله أكثر ملائمة لظروف المملكة المتحدة.

عند مقارنة مخرجات تطبيق هذا النموذج، وعلى الأخص الهيدروغراف الابتدائي لانهيار السد والموجة الابتدائية مع ذلك الذي حصل عليه الاستشاريون السويسريون في دراستهم فقد وجد أن هناك تقارب كبير في النتائج، كما أن تطبيق المعادلات التجريبية (Empirical Equations) المتوفرة والمستخلصة من انهيارات فعلية أكد ذلك أيضًا.

لذا، فقد رأت شركة بلاك أند ڤيتش بأن دراسة الاستشاريين السويسريين كانت سليمة ولم تكن لتختلف عن النتائج التي يمكن أن تتحقق من أي دراسة تفصيلية قد تُجرى على نموذج هيدروليكي فعلي، فيما لو أجريت تلك الدراسة في سنة (2005). وفي الشكل رقم (3) مقارنة بين هيدروغراف الموجة الابتدائي الذي تم الحصول عليه من الدراستين.

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press /سد الموصل/ سحب ثالث



شكل 3: مقارنة هيدروغراف انهيار السد حسب (FLORIS) وحسب (DAMBRKU)

استخدم الاستشاريون السويسريون هيدروغراف الموجة الابتدائي الذي حصلوا عليه من النموذج (FLORIS) كنقطة البداية لعملية تسليك الموجة نفسها في مجرى النهر نحو الأسفل باستخدام نفس النموذج. ولم تظهر عملية التسليك هذه انخفاضًا منتظمًا لذروة تصريف الموجة عند تقدمها في المجرى، كما كان التغير بارتفاعها غير منتظم أيضًا، حيث ازداد تصريف الذروة المذكورة بصورة ملحوظة في المسافات الضيقة من المجرى وصاحب ذلك انخفاض بارتفاع الموجة نفسها، حالها في ذلك حال أي جريان غير منتظم (Non Uniform Flow) كما وامتد تأثير منحنى المياه الراجعة السالب لبعض المسافة في النهر (Back Water Curve Effect)، وقد لوحظ هذا السلوك عند عبور الموجة منطقة المضايق في جبل مكحول شمال بيجي. كما ولوحظ أيضًا في مناطق التقاء روافد النهر (الزاب الأعلى والزاب الأسفل وديالى) مع نهر دجلة نفسه حصول عملية معكوسة، حيث ازداد عمق الموجة وقلّت سرعتها وامتد منحنى المياه الراجعة الموجب لبعض المسافات في نهر دجلة نفسه وفي الروافد أيضًا.

ويمكن تلخيص المخرجات الرقمية لنمذجة انهيار السد وتكوّن الموجة الفيضانية الابتدائية في الجدول رقم (1) الذي يبين التطور الزمني لتصريف الموجة خلال مدة

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press /سحب ثالث/ سد الموصل/

الأربع وعشرون ساعة الأولى ولعدة حالات، بافتراض معاملات «ماننغ» المختلفة التي نوهنا عنها وباعتماد قيمتين لعرض الفتحة (الكسرة) وكما بيّنّا أيضًا.

ويلاحظ من الجدول وتحديدًا الأرقام الملونة، بأن أعلى تصريف للموجة يتحقق في حدود (2 ـ 5) ساعات من بدء الانهيار، وأن هذه التصاريف تراوحت بين (415000) متر مكعب بالثانية و(551000) متر مكعب بالثانية وحسب السيناريوهات المختلفه التي تمت نمذجتها.

أما الجدول رقم (2)، فيعطينا القيم الرقمية لمخرجات النمذجة وهي متغيرات الموجة المتمثلة بتصريف الذروة والارتفاع المصاحب للذروة وكذلك وقت وصول الذروة في نقاط منتخبة على مجرى النهر في مسارها من موقع السد نفسه لغاية (30) كيلومترًا جنوب بغداد. ويبين الجدول كذلك مسافات هذه النقاط من موقع السد مقاسة بالكيلومترات على مجرى النهر المتعرج نفسه. أما الأرقام المؤشرة بالألوان في الجدول، فتعطي ارتفاع ذروة الموجة في بداية منحنى المياه الراجعة (Back Water Curve) ونهايته في تقاطع نهر دجلة مع نهري الزاب الكبير والزاب الصغير وكذلك في منطقة المضايق في جبل مكحول.

وتجدر الإشارة بأن المعلومات الواردة في الجدولين (1) و(2) قد تم استخراجها من الجداول والمخططات والهيدروغرافات التي جاءت في تقرير الاستشاريين السويسريين وتم تجميعها بشكل الجداول المبينة أدناه من المصدر[7].

وقد قام الاستشاري بلاك أند ڤيتش بتدقيق هذا الجزء من دراسة الاستشاريين السويسريين أيضًا ـ ونعني: تسليك الموجة الفيضانية في مجرى النهر ـ عند إعدادهم المراجعة المطلوبة الأخيرة في سنة (2005). وتم ذلك في ضوء توفر نماذج تحليلية جديدة ومتقدمة لتسليك موجات الفيضانات بالإضافة إلى توفر الإمكانيات لتقديم النتائج بصورة بيانية بالتداخل والترابط مع منظومة المعلومات الجغرافية (GIS) من أجل رسم مساحات الإغمار. وقد ذكر الاستشاري بلاك أند ڤيتش بعض الأمثلة على النماذج التحليلية المتوفرة في ذلك الوقت، ومنها النموذج الذي طورته محطة ولينكفورد (HR Wallingford) بالمشاركة مع الاستشاريين هالكرو (Halcrow UK) في المملكة المتحدة وهو النموذج (ISIS version II)، وكذلك النموذج الذي طوره المعهد الدانماركي للهيدروليك والمسمى (MIKE2).

لقد وجد الاستشاري المدقق بأن النتائج التي تعطيها هذه النماذج المتطورة ومخرجاتها الأخرى لن تزيد من دقة المعلومات التي وفرها (FLORIS)، لذا توصل إلى القناعة بأن الدراسة التي أجراها الاستشاريون السويسريون قد نفذت بدرجة عالية

من الحرفية والدقة، وخاصة بمعايرتها للنموذج مع الفيضانات القياسية وباختيار معامل الخشونة (n)، وكذلك في نمذجة التقاطعات مع الروافد وفي العقد مثل سدة سامراء. غير أن دراسة الاستشاريين السويسريين لم تتطرق إلى حساب المساحات المغمورة نتيجة تقدم الموجة على مسار النهر وبالتالي إلى تخمين حجم الأضرار التي سوف تسببها الموجة المذكورة، ولا نعلم إذا كان ذلك بسبب عدم تضمين العقد لمثل هذا العمل أو أنه نقص في الدراسة نفسها، وقد اقتصر ما ذكرته الدراسة عن هذا الموضوع ما يلي: «إن الخسائر المتوقعة من الموجة الفيضانية هي أكبر حجمًا مما يمكن تقديره».

جدول 1: تطور هايدروكراف الموجة الابتدائية عند انهيار السد وحسب الحالات المختلفة[7]

case	1	2	3	4	5	6
Manning "n"	0.033	0.050	0.033	0.050	0.033	0.050
Width of Breach(m)	700	700	700	700	200	200
Breaching Time (hr)	4	4	5	5	2	2
Time in Hours (hr)	Q x1000 m^3/sec					
0	1	1	1	1	1	1
1	13	13	13	13	50	50
1.5	80	80	80	80	385	380
2.0	215	210	215	212	425	415
2.5	372	356	335	325	405	390
3.0	474	452	422	404	385	365
3.5	535	499	480	453	375	330
4.0	551	510	509	475	360	310
4.5	538	469	497	460	345	290
5.0	507	469	497	460	330	275
6.0	405	382	435	405	280	260
8.0	271	266	186	278	205	210
10.0	186	192	195	198	180	160
12.0	123	136	130	142	150	80
18.0	37	47	39	49	50	65
24.0	18	2	19	22	20	40

ملاحظة: الأرقام الملونة تبين التصريف الأقصى للموجة الابتدائية في كل حالة.

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/

جدول 2: تصاريف الموجة وارتفاعها ووقت الوصول في نقاط مختارة على مسار النهر[7]

Location	Distance (km)	Discharge X1000 (m^3/sec)	Wave Height (m)	Time of Arrival(hr)	Remarks
Dam Site	0	551	54	0	
Regulating Dam	9	545	48	1.3	
Eski Mosul	17	481	45	1,6	
Mosul City	69	405	24	4	
Hammam Ali	97	370	18	5	
Upper Zab C.	225	345 310	20	7	Backwater extends 10 km.in the Tigris and 15 km.in the upper Zab. Wave height value is average
Lower Zab C.	330	250 210	25	13.5	Backwater extends 25 km. in the Tigris and 20 km. In the Lower Zab. Wave height value is average
Makhool Range Narrows	361	361 195	30 17	16	The drop in wave height is 13 meters in short distance
Tikrit	422	185	15	22	
Sammara	479	162	10	25	
Balad	516	115	9	28	
Khalis	566	81	6	31	
Tarmiya	597	72	4	33	
Baghdad (North)	638	46	4	38	
Baghdad Center)	653	35	4	44	
Baghdad (South)	674	34	3.5	48	
Diyala C.	685	34	3	>48	
Salman Pak	708	31	3	>48	

ملاحظة: الأرقام الملونة تبين تصاريف وأعماق الموجة في بداية وفي نهاية منحنى المياه الخلفي (Back Water curve) في ملتقى الرافدين (الزاب الأسفل والزاب الأعلى) وكذلك في منطقة مضايق جبل مكحول.

ولقد اتفق الاستشاري بلاك أند ڤيتش مع الاستشاريين السويسريين في هذا الاستنتاج، مع التطرق إلى إحدى الدراسات التي أجراها مكتب الاستصلاح الفدرالي الأمريكي (USBR)[8] وتم الحصول على مادتها الأولية من حالات انهيار سدود في الولايات المتحدة، وتبين تلك الدراسة بأن الخسائر بالأرواح يمكن تخمينها في حالة كون فترة الإنذار لتفعيل خطة الإخلاء لحصول الانهيار تساوي (1,5) ساعة على الأقل، وذلك من المعادلة التالية:

LOL = 0.0002 X where (LOL) (PAR) is the loss of life, and PAR is the population at risk.

أما إذا قلَّت مدة الإنذار لتفعيل خطة الإخلاء عن (1,5) ساعة فعندئذ تكون المعادلة النافذة كما يلي:

$LOL = (PAR)^{0.6}$

وكما سبق ذكره، فإن هاتين المعادلتين تم اشتقاقهما من المعلومات المسجلة لدى مكتب الاستصلاح الفدرالي الأمريكي لحالات موجات فيضانية ناجمة عن انهيار لسدود وقعت في السابق لكنها بالتأكيد لا يمكن مقارنتها مع الموجة الفيضانية من الانهيار الافتراضي لسد الموصل والتي لا يوجد هناك سابقة تاريخية مشابهة لها مطلقًا، وإنها أشبه ما تكون بموجة تسونامي.

ويمكننا التوصل إلى بعض المؤشرات للخسائر المقارنة بالعودة إلى المعلومات المسجلة عن موجة التسونامي التي حصلت في اليابان في آذار (2011)[9]، حيث تظهر المعلومات المؤكدة لدى وكالة الشرطة الوطنية ـ والتي جرى حصرها لغاية العاشر من نيسان (2015) ـ وقوع (15894) وفاة و(2562) جريح وإخلاء (228863) شخص من البلدات المتأثرة بالموجة وعددها (22) بلدة، هذا بالإضافة إلى تسجيل خسائر هائلة بالممتلكات والبنى التحتية.

وأخيرًا لا بد أن نسأل عن ماهية الإجراءات المطلوب اتخاذها بالنسبة للمدن والمراكز السكانية على مجرى النهر في ضوء دراسة الانهيار الافتراضي؟

للتوصل إلى جواب عن هذا السؤال يجب أن تتوفر مسبقًا المعلومات عن الأمور التالية:

ـ التعرف المبكر على العلامات عن قرب حصول انهيار السد.

ـ تحديد ماهية الإجراءات التي يجب اتخاذها لنقل هذه المعلومات إلى أصحاب القرار.

ـ الوقت اللازم لتفعيل الإنذار والفعاليات المطلوبة في خطة أعمال الطوارئ (خ. أ. ط) بافتراض وجود مثل هذه الخطة.

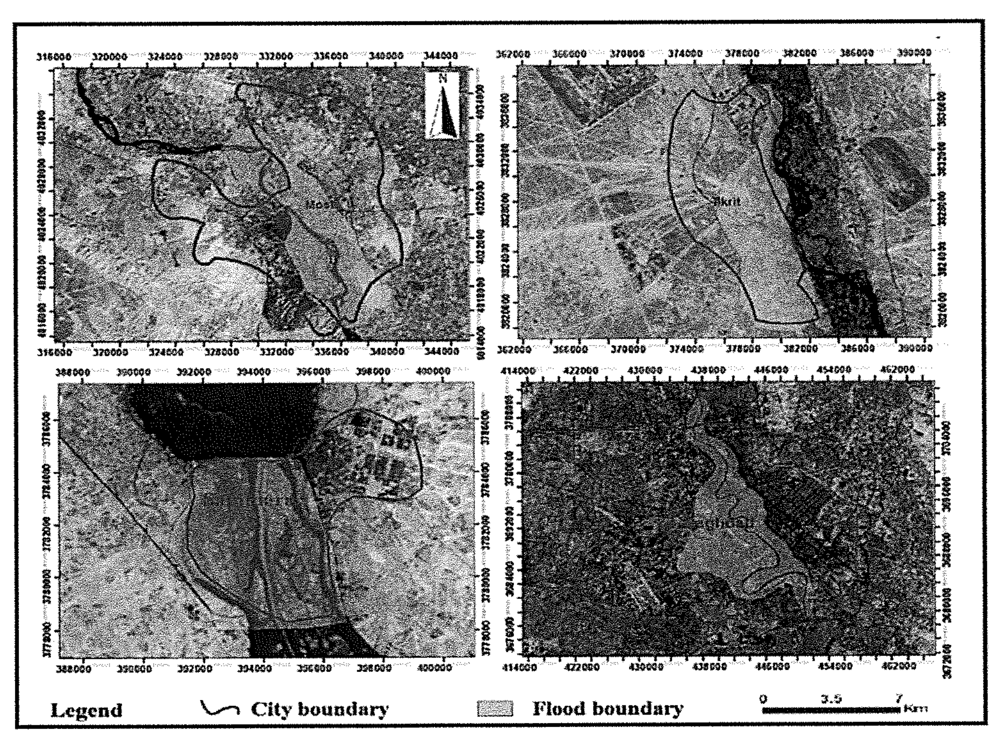
وعند توفر الأمور المذكورة أعلاه، يمكن عندئذ التفعيل المؤثر لخطة الطوارئ، بضمنها إيصال المعلومات إلى مراكز الشرطة والقيادات العسكرية وكافة دوائر خدمات الطوارئ ووسائل الإعلام وبالتالي إلى المواطنين، ومن ثم حشد وتعبئة وسائل النقل وتهيئة مراكز الاستقبال والإيواء والخدمات الطبية والتموين والإطعام.

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press /سد الموصل/ سحب ثالث/

ويمكننا أن نبين أنه بموجب دراسة الانهيار الافتراضي للسد، فإن أي مجمعات قريبة من مؤخر السد التي لن يتوفر لها الوقت الكافي للإنذار لتفعيل خطة الإنذار والطوارئ ستعاني من خسائر شاملة بالأرواح.

ويمكن القول بأن أي دراسة لإيجاد المساحات المغمورة بمياه الموجة للمدن الرئيسية على مجرى النهر لم تكن متوفرة حتى مدة قريبة، فيما عدا دراسة واحدة لمدينة الموصل كما سوف نبيِّن لاحقًا.

وقد تمت أول دراسة لعدد من تلك المدن سنة (2014) باستخدام نتائج دراسة الاستشاريين السويسريين وقامت بها جامعة لوليو السويدية وتمخضت عن رسم الخرائط المبينة في الشكل رقم (4)[10]. وأعقب ذلك قيام جهات أخرى بمثل هذه الدراسات أنتجت خرائط للإغمار سوف نتطرق اليها عند شرحنا لتلك الدراسات ومخرجاتها.



شكل 4: خرائط الإغمار في مدن الموصل وتكريت وسامراء وبغداد على التوالي بموجب دراسة جامعة لوليو السويدية

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press /سحب ثالث/ سد الموصل/

3 ـ الدراسات اللاحقة عن الانهيار الافتراضي للسد

في محاولات لتخمين الأضرار الناجمة عن موجة الفيضان الافتراضية، أجريت العديد من الدراسات اللاحقة؛ ومنها قيام باحثان من جامعة الموصل سنة (2009) بدراسة جديدة من أجل تخمين المساحات المغمورة بين سد الموصل ومدينة الموصل من جهة، وفي مدينة الموصل نفسها في حالة انهيار السد[11]. وقد اعتمدت الدراسة خمسة سيناريوهات لمناسيب الخزان عند بدء الموجة وهي المناسيب (330، 320، 310، 300، 290)، واستخدمت نموذج المحاكاة (SMPDBRK). ولم تذكر الدراسة التطبيقات التي استخدمت لرسم المخرجات وإنما ذكرت فقط بأنه قد تم الاعتماد على منظومة المعلومات الجغرافية لهذا الغرض.

وكما هو معلوم، فإن النموذج (SMPDBRK) باعتباره أداة لنمذجة الجريان التدريجي غير المنتظم (Gradually Varied Flow) إنما يقوم بمحاكاة تسليك وتقدم الموجة في مجرى النهر إلا أنه لا يغطي طور انطلاق الموجة الابتدائي. لذا يتطلب الحصول على المعلومات الأولية لتشغيل النموذج من المعادلات، فيتم استخراج التصريف الابتدائي للموجة من معادلة الجريان فوق هدار (Weir Equation).

بينما استند الباحثان على خمسة معادلات مبنية على التسجيلات والملاحظة من انهيارات سدود أخرى تعطي عرض الفتحة (الكسرة) والوقت اللازم لتكون تلك الفتحة، ويذكر أن تلك المعادلات تتصف بدرجات متفاوتة من حجم المعلومات التي استندت عليها ودقة تلك المعلومات.

وقد أظهرت حسابات الباحثين لعرض الفتحة في هذه الدراسة تفاوتًا كبيرًا، ففي منسوب خزان يبلغ (290) أعطت المعادلات عرض فتحة يتراوح بين (120) مترًا و(388) مترًا. أما في منسوب خزان يبلغ (330) فقد أعطت تلك المعادلات نتائج تتراوح بين (240) مترًا و(649) مترًا. كما أعطت المعادلات أيضًا الدرجة نفسها من التفاوت عند احتساب وقت اتساع الفتحة وتكونها، حيث أعطت أوقاتًا تتراوح بين (0,25) ساعة إلى (3,55) ساعة في منسوب (290) و(1) ساعة إلى (9,30) ساعة في منسوب (330).

ويبدو أن الباحثين بعد هذا العناء أهملا هذه النتائج واعتمدا قيمًا أخرى لعرض الفتحة ووقت تكونها ولم يتطرقا إلى ماهية تلك القيم، كما لم يعطيا أية تبريرات لكيفية التوصل إليها، مما يلقي ظلالًا من الشك عن دقة النتائج ومدى تأثيرها في

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/

القسم التالي من الدراسة وهو تسليك الموجة في مجرى النهر، ومدى الموثوقية في النتائج النهائية للدراسة.

أما الأمر الثاني الذي يثير القلق حول صحة نتائج الدراسة موضوع البحث، فهو اختيار قيمة معامل «ماننغ» للخشونة (n)، حيث يبين الباحثان استخدامهما القيمة (0,030) لمجرى النهر من أجل معايرة النموذج بموجب المعلومات المسجلة لفيضان ما تم رصده في موقع معين ضمن مدينة الموصل، دون التطرق إلى ذكر ماهية ذلك الفيضان وهل كان فيضانًا اعتياديًّا أم قياسيًّا أو أي فيضان آخر، بينما استخدما القيمتين (0,040) لضفاف النهر و(0,10) للمناطق المأهولة في المدينة.

لقد كان على الباحثين بيان أسباب هذه الاختيارات، ففي الوقت الذي ليس فية أي اعتراض على أي قيمة إذا ما كانت مسندة بدراسات سابقة، فإن الواجب العلمي يقتضي ذكر المبررات لهذه الاختيارات والتحقق من تلك الفرضيات.

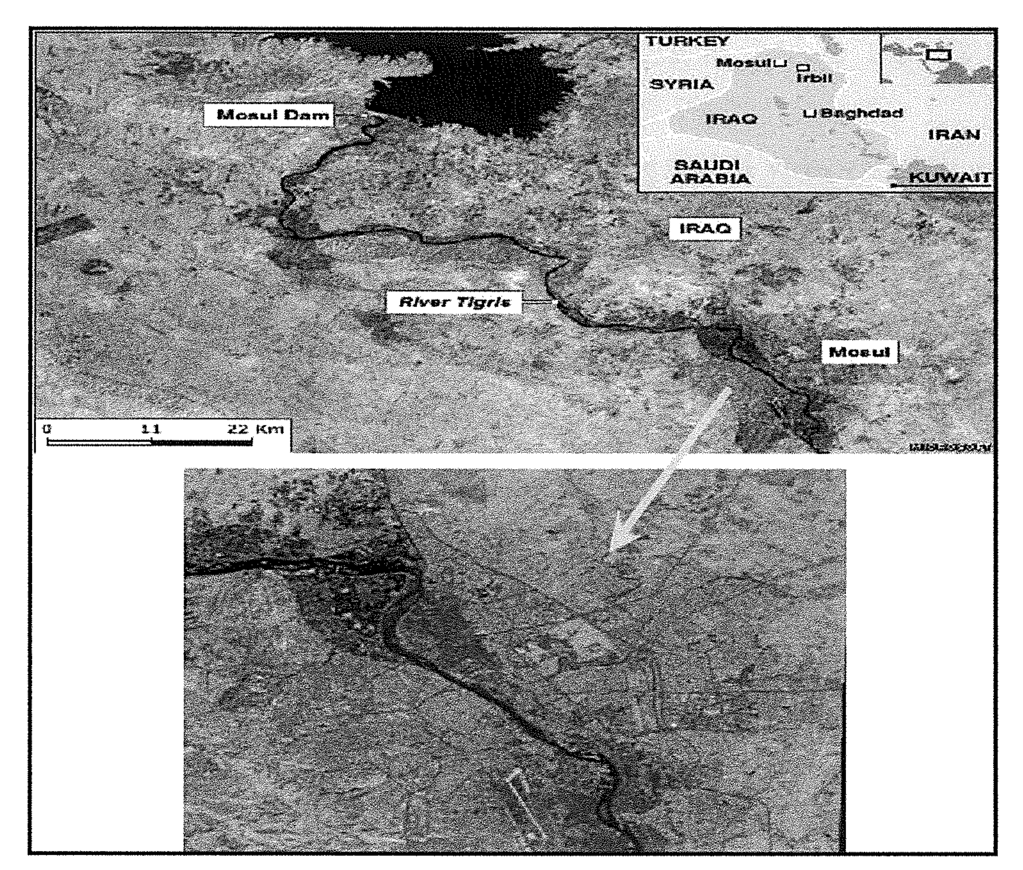
من الواضح، أن القيمة (0,030) كمعامل للخشونة لمجرى النهر ـ من دون الأخذ بالاعتبار الحوض الفيضاني ـ تعتبر قليلة، خاصة في ضوء المنحنيات في مسار مجرى النهر (Meanders) ونوع حمولات القعر من الرسوبيات التي يجرفها[12]. أما القيمة البالغة (0,040)، فلا يمكن تبريرها بدون اعتماد دراسات لفيضانات قياسية كبيرة (تاريخية).

وحيث إن مخرجات النموذج المتمثلة بارتفاع الموجة وتصريفها الأقصى حساسة جدًّا بالنسبة لقيمة معامل الخشونة (n) المستعمل، فقد كان من واجب الباحثين القيام بإجراء دراسة تحليلية للمخرجات (Sensitivity Analysis) في ضوء حساسيتها لقيمة المعامل المذكور لمعرفة مدى التغيرات التي يتوقع حصولها في حالة الانحراف عن القيم المفترضة.

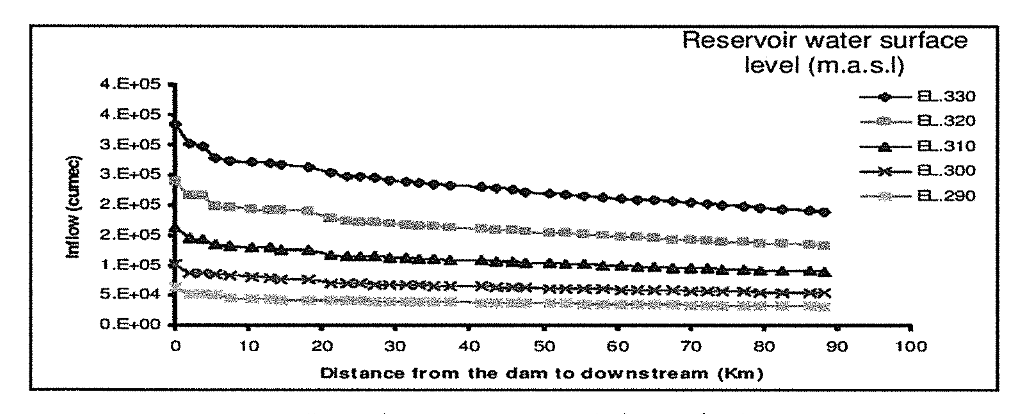
وعلى الرغم من تحفظاتنا المبينة، فإن الدراسة تعتبر محاولة جيدة لإعطاء الحجم العام للكارثة المتوقعة في حالة انهيار سد الموصل وكذلك لتقدير المساحات المغمورة. ويمكن أن تعطي هذه الدراسة نتائج أدق إذا ما تم تلافي الأمور التي تم إيضاحها.

وفي ما يلي بعض المخرجات البيانية للدراسة المذكورة: ففي الشكل رقم (5) تم تحديد للمنطقة التي غطتها الدراسة. أما الأشكال من رقم (6) إلى رقم (9) فتعطي مخرجات الدراسة بيانيًّا.

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press /سحب ثالث/ سد الموصل/

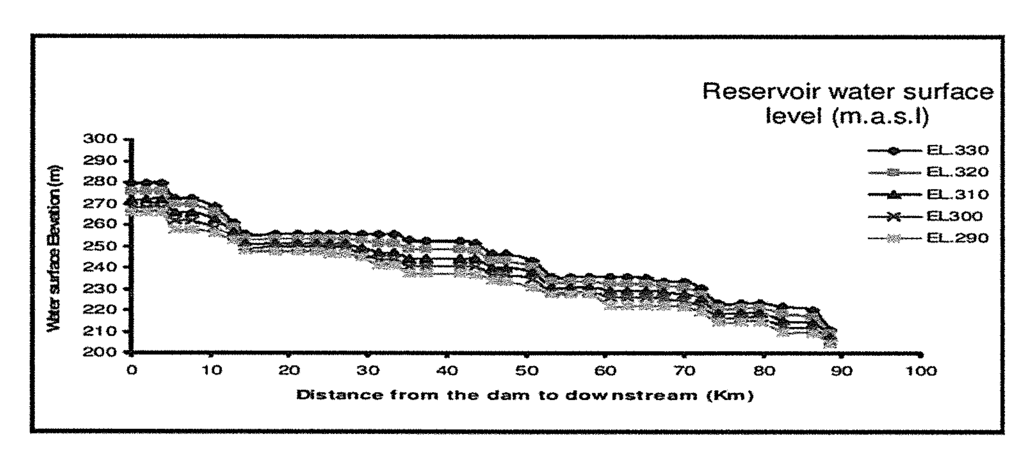


شكل 5: منطقة الدراسة

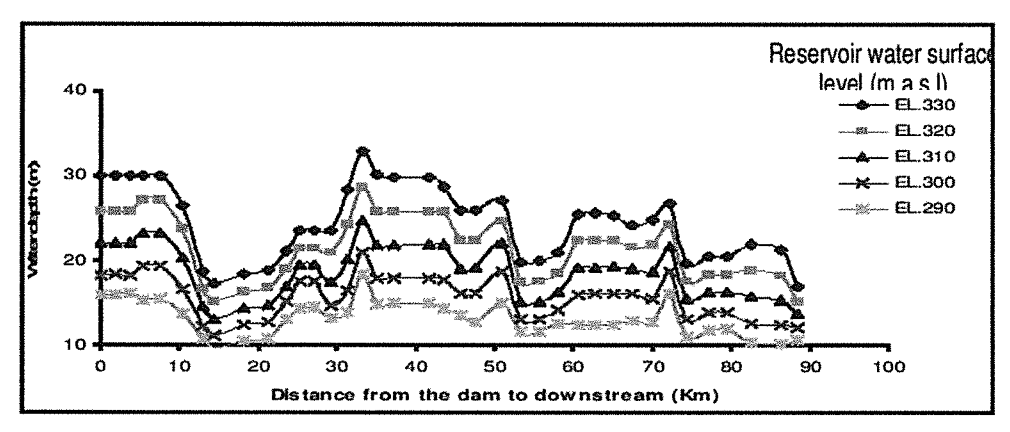


شكل 6: تصريف ذروة الموجة حسب مسافتها من السد

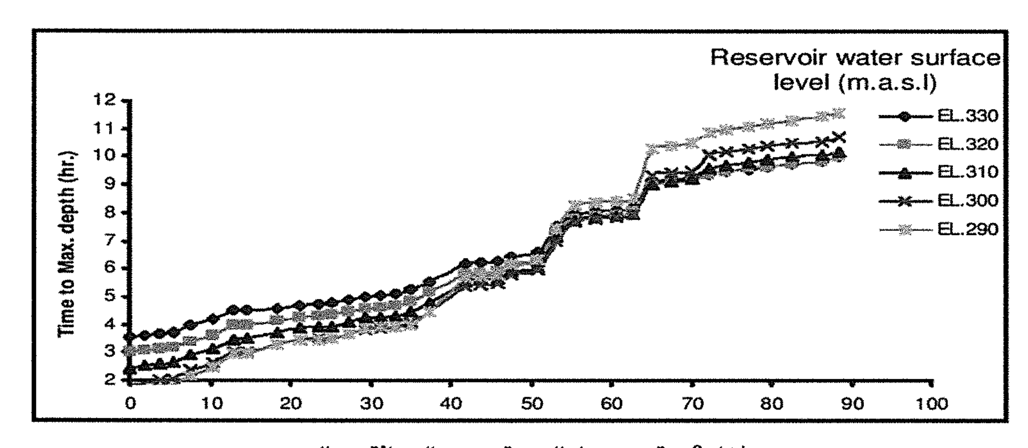
z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/



شكل 7: منسوب ذروة الموجة حسب مسافتها من السد



شكل 8: عمق ذروة الموجة حسب مسافتها من السد



شكل 9: وقت وصول الموجة حسب المسافة من السد

وفي سنة (2015)، تم القيام بإجراء دراسة أخرى من قبل باحثيين يعملون في وزارة التعليم العالي والبحث العلمي[14]، وقد استعملوا في دراستهم النموذج (SMPDBK91). وهذا النموذج هو نسخة مبسطة من النموذج الأصلي (DMBRK) والذي سبق استعماله من قبل إدارة خدمات المناخ الوطنية الأمريكية (NWS) في أوائل الثمانينات وكان قد تم تطويره من قبل جامعة بركهام يونغ (Birgham Young University) بالمشاركة مع محطة تجارب الممرات المائية التابعه لفيلق المهندسين في الجيش الأمريكي (USACE Waterways ExperimentalStation)[14].

أوردت الدراسة، بأن نمذجة طوبوغرافية حوض النهر قد تم إجراؤها باستخدام نموذج المناسيب الرقمي (DEM) من أجل استخراج المقاطع العرضية لمسار الموجة على مجرى النهر. ولم توضح الدراسة عن مصدر المعلومات الرقمية التي استخدمت في هذا التطبيق. وكما هو معلوم فإن النموذج (SMPDBK91) يحتاج عند التطبيق إلى مدخلات من المعلومات الأولية عن تطور واتساع الفتحة (الكسرة) والتي يتطلب تخمينها، ومنها منسوب أسفل الفتحة والعرض النهائي لها، بالإضافة إلى الوقت اللازم لتطور الفتحة لتأخذ شكلها النهائي.

ويوضح دليل استعمال النموذج ضرورة اعتماد قيم افتراضية لهذه المتغيرات. غير أن الدراسة لم توضح كيفية اعتماد تلك المعلومات وتستعمل بديلين لعرض الفتحة هما (100) متر و(200) متر، على الرغم من أن دراسة كل من الاستشاريين السويسريين وبلاك أند ڤيتش قد بيّنتا بأن مثل هذا العرض لا يعتبر واقعيًا. ولم تتطرق الدراسة أيضًا إلى وقت تطور الفتحة، لذا لا تتوفر أية معلومات عن هيدروغراف الموجة عند حصول الانهيار وبعده، وربما تفترض الدراسة حصول دفق آني فوق قمة الهدار المفترض في الدراسة.

أما عند مراجعتنا التعليمات الفنية لتشغيل النموذج للنموذج (SMPDBK91) وبالتحديد كيفية إيجاد قيمة معامل الخشونة (n) لغرض الاستعمال، فقد وجدنا بأن هذه القيمة يمكن أن تحدد ما بين (0,04) و(0,05) للمقاطع التي تشمل الحوض الفيضاني (أي: عند الطفح على الضفاف)، عندما تكون الأراضي إما معشبة أو مستغلة زراعيًا بالمحاصيل، بينما يمكن استعمال (0,07) إذا ما كانت الأراضي الفائضة مكسوة بالأشجار بدرجة معتدلة وتستعمل قيم تتراوح بين (0,10) و(00,15) إذا ما كانت مغطاة بالغابات الكثيفة، كما ويمكن أن تستعمل القيمة الأعلى عند وجود كميات كبيرة من الأنقاض والرسوبيات الحجرية المنجرفة في المجرى.

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press /سحب ثالث/ سد الموصل

أما في حالة الجريان في مجرى النهر نفسه من دون الطفح على الضفاف، فقد أوردت تعليمات الاستعمال تطبيق معادلة خاصة على أن لا تتجاوز القيمة (0,035). وقد وجدنا أيضًا بأن تعليمات استخدام النموذج الأصلي (SMPDBK) توصي بأنه وفي حالة كون حوض الانغمار الفيضاني كبير جدًّا فمن الأفضل استعمال جدول من القيم (n) تأخذ بالاعتبار قيمة معامل الخشونة في كل منسوب من مناسيب حوض الانغمار بدلًا من استعمال قيمة واحدة.

أما في الدراسة موضوع البحث والتي قام بها باحثوا وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، فإنهم يبينون استخدامهم الصور الفضائية من القمر (Landsat 8) لغرض وصف التضاريس وملامح سطح الأرض لتحديد صفات مجرى النهر ومناطق الإغمار وثم تطبيق النموذج (Arc Map)، ويعترف الباحثون بعد ذلك بأن كل هذا لم يكن كافيًا للوصول إلى قيمة معقولة لمعامل الخشونة لكل نوع من أنواع التضاريس، مما جعلهم يفترضون قيمة قدرها (0,06) للأراضي المزروعة بالمحاصيل، و(0,08) للغابات، و(0,050) للمسطحات المائية و(0,070) للمساحات الجرداء، ولم يقدموا أية تبريرات لهذه الخيارات؛ مما يجعل نتائج هذه الدراسة شأنها شأن دراسة جامعة الموصل محل للتساؤل.

أما في مجال مقارنة نتائج الدراستين آنفتي الذكر، فإن هناك مجال واسع من الاختلاف. ونلاحظ مثلًا من دراسة وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، فإن تصريف ذروة الموجة المتحققة في مدينة الموصل يبلغ (121716) مترًا مكعبًا بالثانية عندما تكون فتحة الانهيار (200) متر ومنسوب الماء في الخزان (319)، أما ارتفاع قمة الموجة فيكون (22,7) مترًا ووقت الوصول (8,9) ساعة. بينما تعطي نتائج دراسة جامعة الموصل قيمًا مختلفة كثيرًا. فإن تصريف الذروة الواصل مدينة الموصل يبلغ (207632) مترًا مكعبًا بالثانية وارتفاع قمة الموجة (25) مترًا ووقت وصول الموجة (5,22) ساعة على التوالي، وذلك بمنسوب ماء في الخزان يبلغ (320) مترًا وبعرض الفتحة نفسه. لذا، فإن وجود اختلاف بمنسوب الخزان بمقدار (1) متر بين الدراستين لا يمكن أن يبرر مثل هذه الفروقات، مما يعكس بأن هناك أخطاء بالغة في الفرضيات الأولية وفي تطبيق النماذج المختلفة.

وفي تحديث أخير لدراسات الانهيار الافتراضي لسد الموصل والموجة الفيضانية، فقد قام مركز البحوث المشترك (Joint Research Center-JRC) العائد للمفوضية الأوربية بنشر دراسة في نيسان (2016) قام بها عدد من الباحثين فيه

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/

تناولت نمذجة الموجة وإيجاد مساحات المناطق المغمورة، وتوصلت إلى إيجاد أعداد الناس الذين سوف يتأثرون بها في المراكز السكنية الرئيسية على مجرى النهر[15].

وبالنظر لأهمية الدراسة، فقد ارتأينا أن من المفيد استعراضها والتوسع في تفاصيلها.

استخدمت الدراسة البرنامج (HyFlux2)[16]، وقد سبق أن طور المركز هذا البرنامج لتحليل موجات التسونامي وتدفق الموج، وتم استعماله أيضًا في دراسات موجات انهيار السدود. ويبدو أن معدي الدراسة كانوا قد اخذوا علمًا بكافة الدراسات السابقة عن الانهيار الافتراضي لسد الموصل وموجته الفيضانية، ولكنهم بالمقارنة مع تلك الدراسات قدموا جدولًا متكاملًا لأوقات وصول الموجة وخرائط مفصلة لمناطق الانغمار، وبالأخص المدن وإيجاد أعماق المياه التي ستغطي تلك المناطق. وأخيرًا الأعداد التفصيلية للمواطنين المتأثرين بالانغمار ولكل منسوب من مناسيب الانغمار، كل ذلك بأخذ بدائل عديدة لمناسيب الخزان عند وقوع الحدث.

اعتمدت الدراسة في سيناريو تطور الانهيار، بأن مساحة الفتحة ستكون بحدود (26%) من مساحة السد؛ أي: مساحة (40560) مترًا مربع من ضمن المساحة الكلية للسد البالغة (155000) مترًا مربعًا وعلى اعتبار بأن طول السد المشمول يساوي (2) كيلومترًا. كما أن ارتفاع الفتحة يساوي (78) مترًا تحت منسوب التشغيل الأقصى البالغ (330) مترًا وبذلك يكون منسوب أسفل الفتحة هو (252) في مقطع النهر. كما تفترض الدراسة بأن الموجة ستنطلق دفعة واحدة مفرغة الخزان في وقت قصير جدًا حال انهيار السد.

وقد أعطى سيناريو الانهيار المذكور موجة عالية جدًا في مدينة الموصل بذروة ارتفاعها (25) مترًا في بعض المناطق وبمعدل ارتفاع قدره (12) مترًا، وأن زمن وصولها إلى المدينة سيكون فقط ساعة واحدة وأربعين دقيقة. أما العاصمة بغداد، فسوف تصلها الموجة بعد (3,5) يوم وبارتفاع أقصاه (8) أمتار ومعدل إغمار بعمق (2) مترًا.

وقدمت الدراسة أيضًا مخرجات النموذج لبدائل مختلفة من مناسيب الخزان عند حصول الانهيار بالإضافة إلى منسوب (330)، ومن هذه المناسيب منسوب التشغيل الأقصى المعتمد حاليًا البالغ (319)، والمناسيب (309) و(307) و(305)، وأخيرًا منسوب (300) وهو منسوب الخزن الميت.

ويبين الجدول رقم (3) وقت وصول الموجة ثم الوقت لوصول ذروتها وارتفاع ذروة الموجة إلى كل من الموصل وبيجي وتكريت وسامراء والعاصمة بغداد وباستخدام مناسيب الخزن التي سبق ذكرها.

جدول 3: أوقات وصول الموجة وأوقات وصول الذروة وأقصى ارتفاع للموجة

City	Mosul			Baeji			Tikrit			Sammara			Baghdad		
R.L	T_1	T_2	H	T_1	T_2	H	T_1	T_2	H	T_1	T_2	H	T_1	T_2	H
330	1.7	6.2	26.3	16,8	23.5	14.3	21.08	26.8	14.5	26.12	30.08	16.1	67.0	67.0	8
319	2.29	-	22.7	18.59	-	11.8	24.07	-	11.8	30.05	-	13.8	76.20	-	7.6
309	2.55	-	19.2	22.54	-	9.3	29.00	-	9.5	36.48	-	11.1	96.40	-	7.5
307	2.54	-	18.6	23.45	-	8.9	30.04	-	9.1	38.12	-	10.4	103.05	-	7.4
305	3.17	-	17.9	24.53	-	8.3	31.19	-	8.7	40.12	-	9.9	111.31	-	7.3
300	3.40	-	16.0	28,32	-	7.3	35.58	-	7.8	46.18	-	8.3	141.33	-	7.1

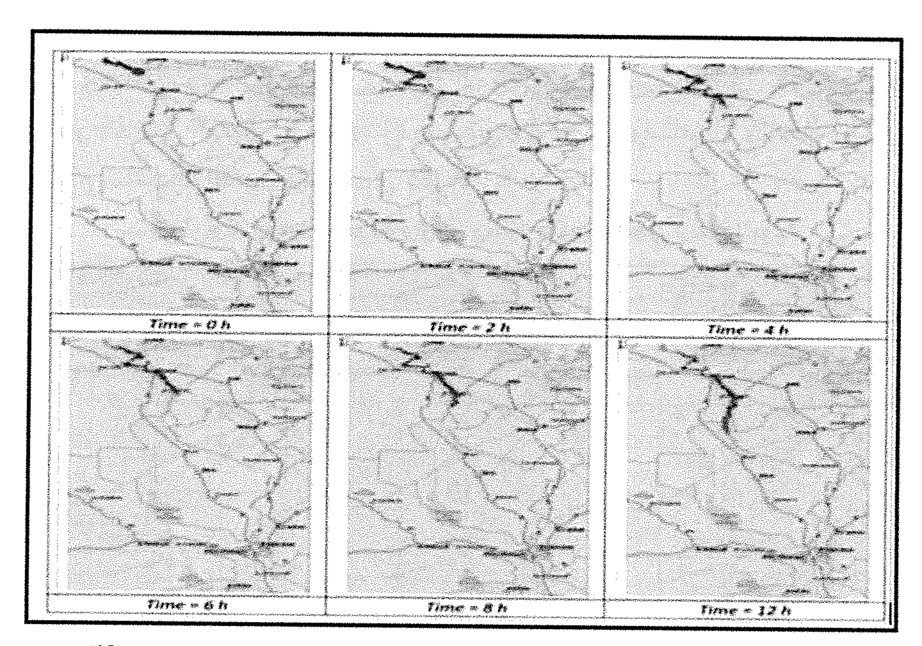
R.L = Reservoir water Level (m.a.s.l.), T_1 = Time of wave arrival (hours)

T_2 = Time of maximum wave height (hours), H = Maximum wave height (meters)

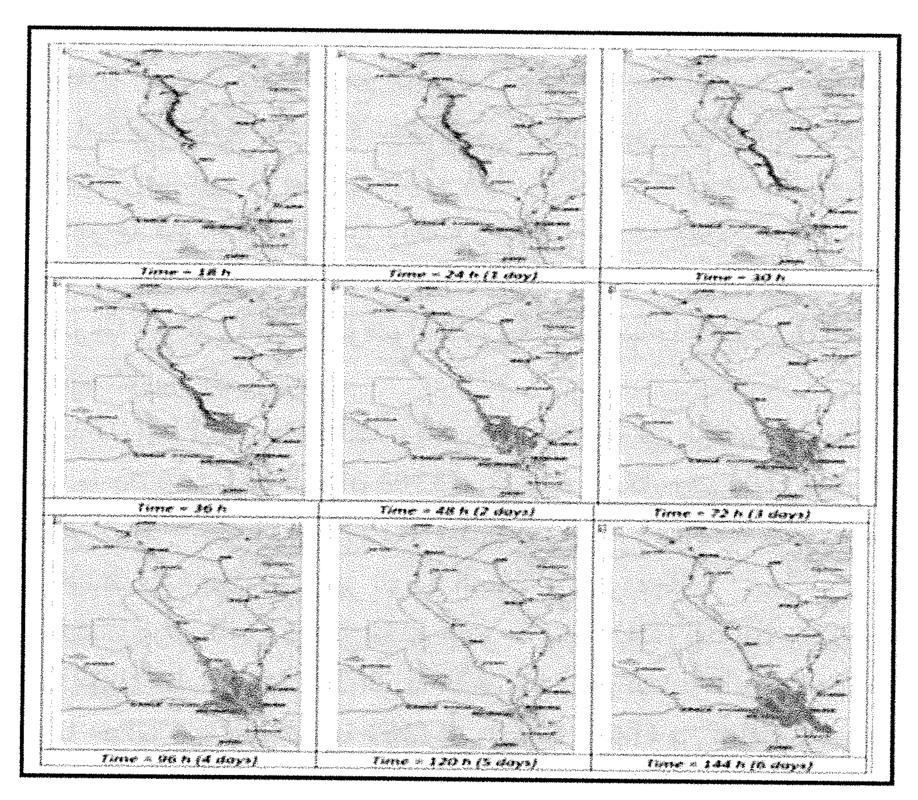
من مقارنة الجدول رقم (3) مع الجدول رقم (2) يلاحظ تقارب واضح في نتائج هذه الدراسة مع نتائج دراسة الاستشاريين السويسريين، خاصة بالنسبه لمدينة الموصل. ففي سيناريو الانهيار بمنسوب خزان (330)، تعطي هذه الدراسة ارتفاعًا لذروة الموجة قدرة (26,3) مترًا ووقت وصول للموجة قدرة (1,7) ساعة، أما وقت وصول ذروة الموجة فيكون (6,2) ساعة، ويقابل ذلك (24) مترًا لارتفاع ذروة الموجة، و(1,6) ساعة لوصول الموجة و(4) ساعات لوصول ذروتها في دراسة الاستشاريين السويسريين.

قدمت الدراسة أيضًا مخططات توضح تقدم الموجة في مجرى النهر بعد انهيار السد عندما يكون منسوب الخزان (330)، فيوضح الشكل رقم (10) مسار الموجة من الساعة (صفر) حتى الساعة (12)، وبفترة زمنية تبلغ (2) ساعة، حيث تكون قد وصلت عندئذ قريبًا من مصب نهر الزاب الصغير في نهر دجلة.

أما الشكل رقم (11) فيمثل تقدم الموجة بعد ذلك وبفترات زمنية كل (6) ساعات. ويلاحظ في الخرائط الستة الأخيرة، مدى انتشار الموجة مقدم مدينة بغداد وما حولها فيما بعد الساعة (30) إلى الساعة (144) من انطلاق الموجة علمًا بأن وصول الموجة أطراف مدينة بغداد يكون بحدود (72) ساعة.

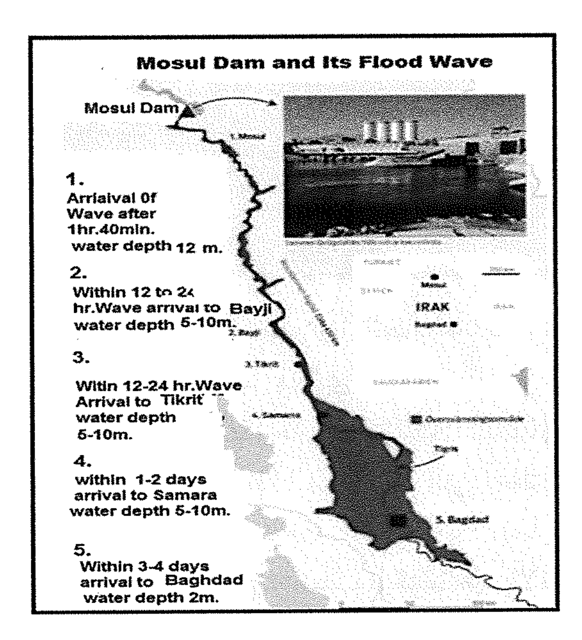


الشكل 10: تقدم الموجة في مسارها في مجرى النهر الساعة (صفر) لغاية الساعة (12)



شكل 11: استمرار الموجة من الساعة (18) لغاية الساعة (144)

وفي مقابلة أجرتها جريدة (نورشوبنغ تد ننكن) السويدية مع المؤلف ونشرتها في اليوم الثالث والعشرين من كانون الثاني (2017)[17] عن أخطار انهيار سد الموصل أرفقت الصحيفة مع المقال الخارطة المبينة في الشكل رقم (12) والتي تبين تقدم الموجة في مسارها ومدى انتشارها. ويلاحظ انتشار الموجة الفيضانية على مساحة واسعة من الأراضي اعتبارًا من منطقة بلد تقريبًا، ويعود السبب في ذلك إلى طبيعة الحوض الفيضاني المنبسط وغياب التضاريس. وتبيِّن أيضًا بصورة واضحة أوقات وصول الموجة وفترة الانغمار وعمق الانغمار.



شكل 12: مسار الموجة الفيضانية

وقد أوردت الصحيفة بأن مصدر الخريطة هو المفوضية الأوروبية، وربما يكون مركز البحوث آنف الذكر هو مصدرالخريطة المذكورة. ويذكر بأن التعليقات الواردة على الخريطة قد قمنا بترجمتها من الأصل السويدي إلى اللغة الأنكليزية.

وتعتبر هذه الدراسة أول دراسة تقدم تخمينات لأعداد السكان الذين سوف يتأثرون بالموجة الفيضانية. ومن أجل ذلك، فالدراسة تستخدم قاعدة البيانات لنفوس العالم (LANDSAT 2014 Global Population Database) المعتمدة على الصور الفضائية من القمر الصناعي لاندسات ومن ثم استعمال المسح الطوبوغرافي الطبقي (STRM91) بدقه (1) كيلومتر مربع، حيث يتم تسقيط الأعماق المختلفة من مياه الإغمار على قاعدة البيانات المذكورة لإيجاد عدد النفوس في مناطق إغمار الموجة. ويبين الجدول رقم

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press /سحب ثالث/ سد الموصل

(4) مساحات الانغمار وعدد المواطنين المتضررين في كل عمق من أعماق الانغمار وبفترة (0,5) مترًا للأعماق التي تتراوح من (0,1) مترًا إلى ما يزيد عن (10) أمتار.

جدول 4: عدد النفوس المتاثرين بالموجة ومساحات الانغمار الكلية في أعماق مختلفة من أعماق الانغمار في حالة انهيار السد بمنسوب الخزان (330)

Inundation	Population	Area (km^2)
0.1 – 0.5m	948 000	637
0.5 – 2.0m	3 144 000	2 022
2 – 5m	1 626 000	2 482
5 – 10m	260 000	1 150
> 10m	270 000	916
Total	**6 248 000**	**7 202**

من هذا الجدول يتبين أنه في حالة حصول الانهيار عند منسوب خزان قدره (330) فإن مساحة الانغمار الكلية على مسار مجرى الموجة ستصل إلى (7202) كيلومتر مربع، أما عدد النفوس المتأثرين بالموجة فسوف يكون (6248000)؛ أي: ما يزيد عن ستة ملايين نسمة. ومن تجميع كافة المعلومات التي أعطتها الدراسة، تمكنّا أن نعد الجدول رقم (5) الذي يعطينا المساحات المتأثرة بالانغمار ومدة الانغمار وعدد المواطنين المتأثرين في كل منسوب من مناسيب الخزان عند الانهيار.

جدول 5: المساحات المغمورة وعدد النفوس فيها لكل منسوب من مناسيب الخزان عند الانهيار

Reservoir Water Level (m.a.s.l)	Affected Population	Inundated Area (km^2)	Days
330	6,248,000	7202	6
319	4,263,000	5757	6
309	3,291,000	3672	12
307	3,052,000	3923	12
305	2,921,000	3595	12
300	2,205,000	2791	12

ومن الجدير بالذكر، فإن مجلس الوزراء العراقي أصدر في أوائل سنة (2016) ونتيجة للضغط الذي مارسته السفارة الأمريكية في بغداد ووسائل الإعلام العالمي بيانًا إعلاميًا طالب فيه الأهالي الابتعاد عن مجرى النهر مسافة أقصاها خمسة كيلومترات حال إصدار الإنذار لهم بالإخلاء، لذا فقد قامت هذه الدراسة بإيجاد عدد المواطنين الذين سوف يتأثرون بالموجة في الحزام المحصور بين (5) كيلومتر و(10) كيلومتر من مجرى النهر في المدن الخمسة الكبرى المتأثرة، وكانت الحصيلة كما مبين في الأشكال من رقم (6) لغاية (10)

جدول 6: عدد النفوس المتاثرين بالموجة (منسوب خزان (330) واعماق الانغمار مختلفة) بعد (6) ايام

Inundation	Mosul	Bayji	Tikrit	Samarra	Baghdad
0.1 – 0.5m	21 000	0	0	0	746 000
0.5 – 2.0m	55 000	300	100	3 000	2 949 000
2 – 5m	41 000	400	2 500	100	1 134 000
5 – 10m	60 000	17 000	14 000	5 500	26 000
> 10m	183 000	2 000	4 000	3 500	0

جدول 7: عدد النفوس المتاثرين بالموجة (منسوب خزان (319) واعماق الانغمار مختلفة) بعد (6) ايام

Inundation	Mosul	Bayji	Tikrit	Samarra	Baghdad
0.1 – 0.5m	27 000	0*	0*	0	803 000
0.5 – 2.0m	12 000	500	0*	0	1 756 000
2 – 5m	51 000	15 000	3 500	1 000	750 000
5 – 10m	66 000	4 500	14 000	10 000	78 000
> 10m	125 000	0*	500	1 000	0*

جدول 8: عدد النفوس المتاثرين بالموجة (منسوب خزان (309) واعماق الانغمار مختلفة) بعد (12) يوم

Inundation	Mosul	Bayji	Tikrit	Samarra	Baghdad
0.1 – 0.5m	10 000	0	500	0	571 000
0.5 – 2.0m	22 000	6 000	1 500	1 000	1 434 000
2 – 5m	41 000	11 000	11 000	7 000	476 000
5 – 10m	107 000	2 000	4 000	3 500	78 000
> 10m	38 000	0	0*	0	0

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press /سحب ثالث/ سد الموصل/

جدول 9: عدد النفوس المتاثرين بالموجة (منسوب خزان (307) واعماق الانغمار مختلفة) بعد (12) يوم

Inundation	Mosul	Bayji	Tikrit	Samarra	Baghdad
0.1 – 0.5m	12 000	5 500	0*	0	526 000
0.5 – 2.0m	15 000	5 000	2 000	1 000	1 274 000
2 – 5m	53 000	7 000	13 000	7 000	421 000
5 – 10m	89 000	1 500	2 000	3 500	66 000
> 10m	36 000	0*	0*	0*	0*

جدول 10: عدد النفوس المتاثرين بالموجة (منسوب خزان (300) واعماق الانغمار مختلفة) بعد (12) يوم

Inundation	Mosul	Bayji	Tikrit	Samarra	Baghdad
0.1 – 0.5m	14 000	500	500	1 000	382 000
0.5 – 2.0m	15 000	9 500	7 000	7 000	850 000
2 – 5m	86 000	3 500	8 000	3 000	229 000
5 – 10m	54 000	0*	500	500	60 000
> 10m	4 000	0*	0*	0*	0*

وتظهر هذه الجداول بأنه حتى في أوطى مناسيب الخزان وهو منسوب الخزن الميت البالغ (300) فإن الانغمار من (0,1 ـ 0,5) مترًا في مدينة بغداد ضمن الحزام من (5) كيلومتر إلى (10) كيلومتر من مجرى النهر سوف يؤثر على (382000) نسمة بينما سيتأثر (850000) نسمة آخرين عندما يصبح العمق (2) مترًا؛ أي يكون المجموع ما يزيد على (1230000) نسمة بعمق الانغمار من (0,1 ـ 2) مترًا. وهذا يبين بأن بيان رئاسة الوزراء العراقية لا معنى له ولا يستند على أي سند علمي أو واقعي.

تعتبر هذه الدراسة دراسة جيدة لتمثيل حالة الفيضان التي تعقب انهيار سد الموصل، غير أن هناك بعض التحفظات عليها والتي يتطلب معالجتها في أي تحديث مستقبلي يجري عليها. أما التحفظ الآن، فهو حول افتراض منسوب أسفل الفتحة في منسوب (252)، بينما تشير سيناريوهات انهيار السد بأن فشل السد إذا ما حصل قد ينجم عن الرشح والتآكل الداخلي (Piping) في قاعدة السد في مقطع النهر، وفي هذه الحالة يكون من الأصح افتراض منسوب أسفل الفتحة (246).

أما التحفظ الثاني على الدراسة، فهو عدم ذكر أو الأخذ بنظر الاعتبار أي

جريان داخل إلى الخزان عند حصول الانهيار واستمرارية ذلك الجريان بعد تدفق الموجة في مسارها في مجرى النهر.

ومن متطلبات مثل هذه الدراسة أيضًا، ضرورة إجراء تحليل لمعرفة مدى حساسية النتائج إذا ما تم تغيير مساحة فتحة الانهيار بنسب مئوية مختلفة من مساحة المقطع بدلًا من نسبة (26%) التي اعتمدتها الدراسة، خاصة وأن الدراسة لم تبين الأسس التي استندت عليها في تبني هذه النسبة بالأساس.

لقد بيّنت الدراسة أيضًا، ضرورة تحديث المعلومات السكانية لمناطق الانغمار إذا ما أريد إعطاء صورة محدثة جدًّا عن الواقع البشري والإنساني بعد حدوث الموجة، وهذا أمر صحيح ووارد جدًّا، ويتطلب معالجته في أي تحديث لهذه الدراسة، على أن تشارك الجهات العراقية المسؤولة في هذا التحديث.

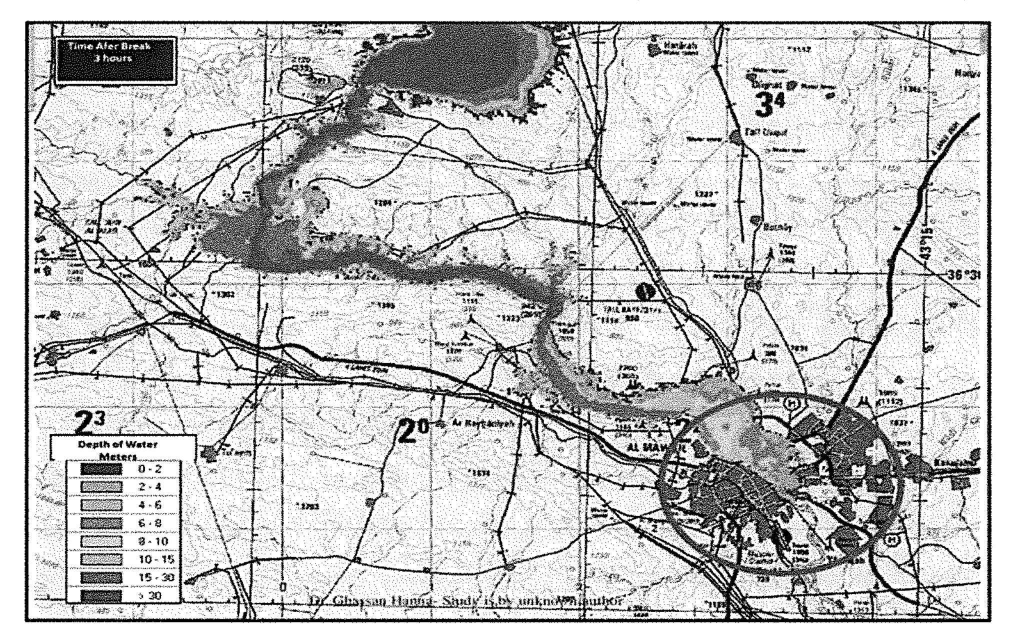
وأخيرًا، فإن الاستنتاج الذي يمكن الوصول إليه هو أن هذه الدراسة تعتبر مماثلة بدقتها لدراسة الاستشاريين السويسريين ولكنها تتفوق عليها بإبراز حجم الأضرار المتوقعة، وخاصة في الجانب البشري والإنساني في مناسيب الخزن المتعددة ومساحات وأعماق الانغمار المختلفة وهو الهدف النهائي المطلوب من أي دراسة ذات معنى تخص هذا المجال.

وقبل الانتهاء من عرض دراسات موجة الفيضان، يمكننا أن نعّرج على دراسة أخرى قامت بها إحدى الجهات التي لم نتثبت منها وقد تكون فيلق المهندسين في الجيش الأمريكي، والله أعلم.

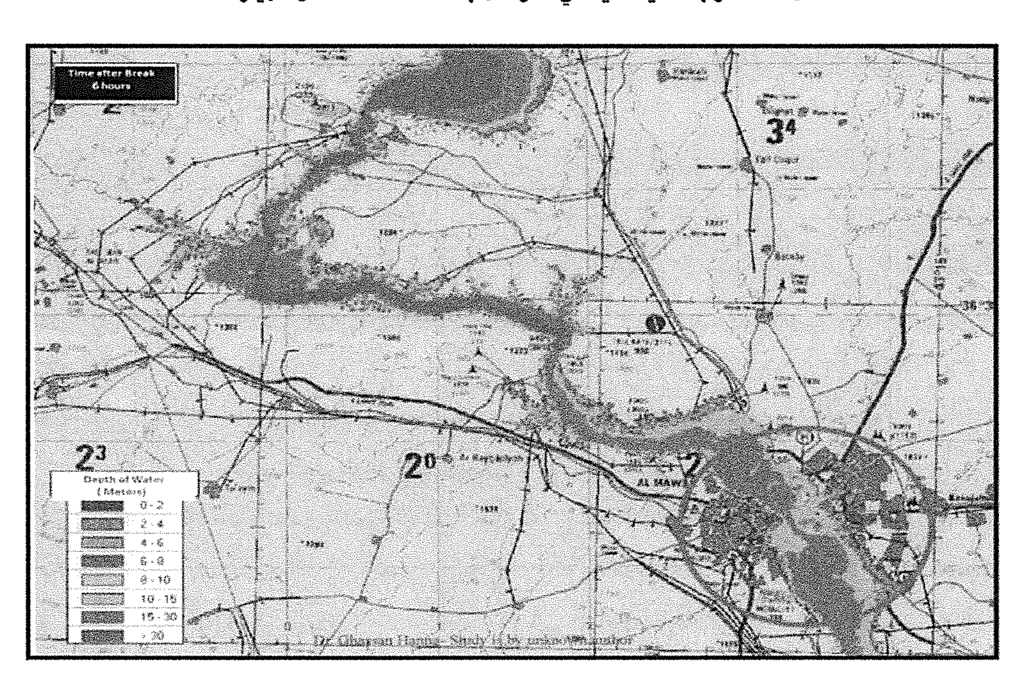
فقد نشرت من قبل الدكتور غسان حنا في المدونة المبينة في المصدر[18]، حيث سبق للسيد غسان حنا العمل مع فيلق المهندسين المذكور في الموصل في متابعة مشاريع إعادة الإعمار. ويبين في المدونة، بأن المعلومات كانت قد عرضت بشكل شرائح (Power point) في محاضرة عن انهيار السد، وقد ألقى المحاضرة أحد الضباط في إحدى الدورات التدريبية للشرطة الاتحادية العراقية من أجل زيادة جاهزية هذه الشرطة للتدخل في حالات الطوارئ وما قد يحصل من كوارث طبيعية.

ويمكن من استعراض الخرائط الواردة في الشكل رقم (13) لغاية الشكل رقم (17) لمعرفة مسار الموجة في تقدمها وأوقات الوصول إلى كل من الموصل ومنطقة المضيق في جبل مكحول شمال بيجي وتكريت وسامراء، بالإضافة إلى أعماق الانغمار. ولم تتضمن الخرائط ما يحصل في مقدم مدينة بغداد وفي المدينة نفسها. ولا يمكننا التعليق على هذه المخططات لمجهولية المصدر أولًا، ولكونها استعراضًا لبعض المخرجات من دون معرفة أي تفاصيل عن الفرضيات والنماذج

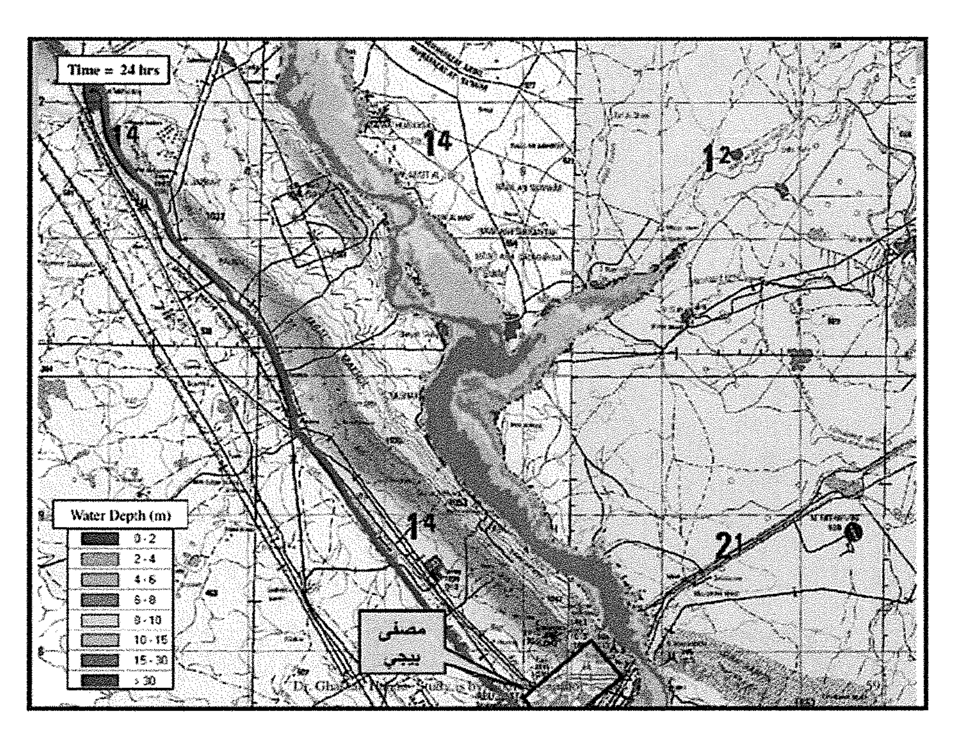
المستعملة. لذا فإن هذه المخططات يجب أن تقرأ في ضوء الدراسات التي سبق وتم شرحها فقط من أجل العلم.



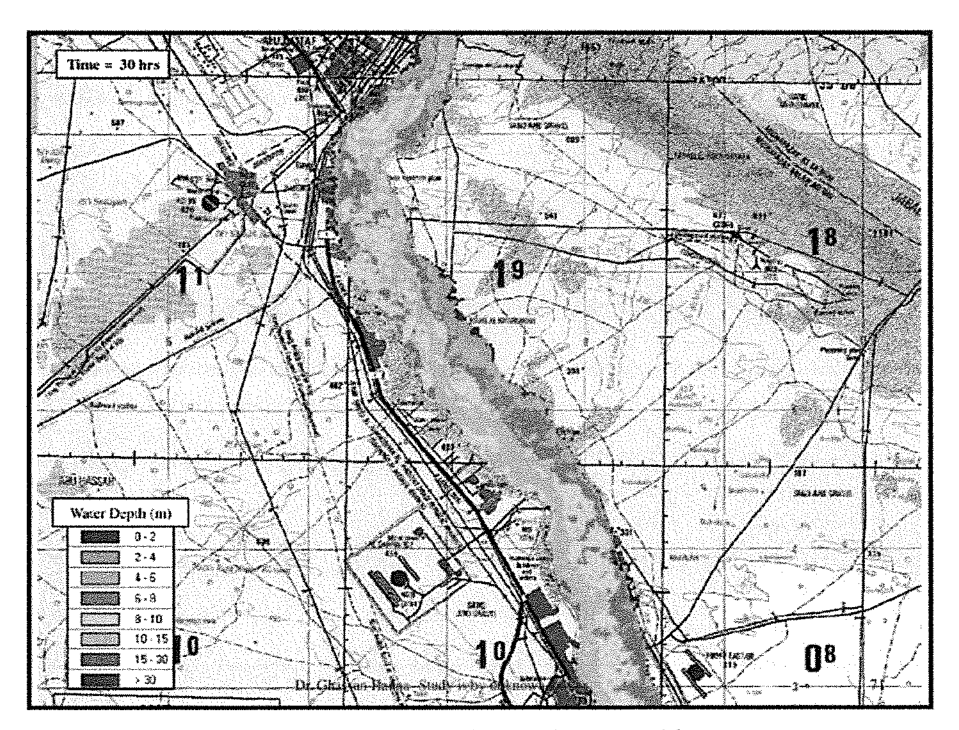
شكل 13: الموجة الفيضانية في الموصل بعد ثلاث ساعات من انهيار السد



شكل 14: الموجة الفيضانية بعد ستة ساعات في الموصل

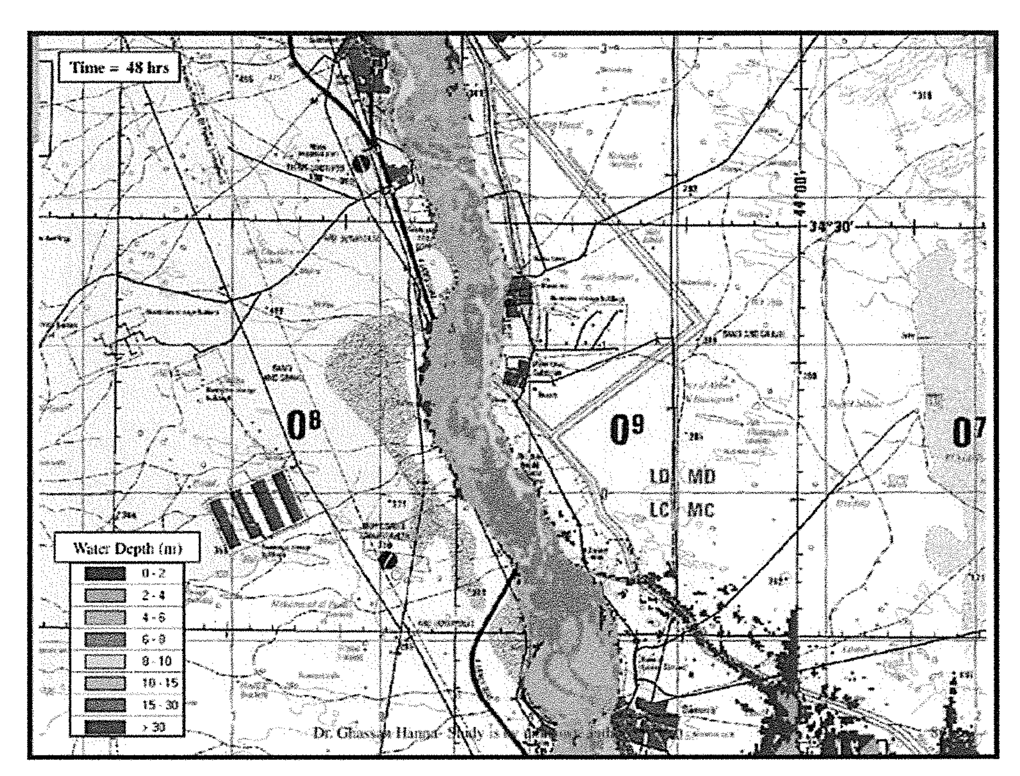


شكل 15: الموجة الفيضانية تصل المضيق في جبل مكحول شمال بيجي بعد أربعة وعشرين ساعة



شكل 16: الموجة الفيضانية في تكريت بعد ثلاثين ساعة

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/



شكل 17: الموجة الفيضانية في سامراء بعد ثمانية وأربعين ساعة من انهيار السد

وخلاصة القول: فإن أي دراسة هندسية عن انهيار أي سد وتحليل أو تخمين نتائج ذلك من مساحات انغمار وتصنيف للمخاطر، يجب أن تأخذ بعين الاعتبار عددًا من الأمور؛ ومنها: الخصائص الهندسية للسد، سيناريو الانهيار المتوقع، وكذلك حجم التخزين المائي عند حصول الحدث.

ويتطلب من تقرير أي دراسة من دراسات الانهيار الافتراضي أن يعالج الأمور التالية:

أوّلًا: احتساب حجم الموجة عند الانهيار، وهذا بدوره يتطلب ما يلي:

- منسوب الخزان والتصريف الداخل إلى الخزان عند حصول الانهيار المفترض.

- طريقة تخمين أو اختيار أبعاد الفتحة (الكسرة) وخواصلها حسب السيناريو المعتمد للانهيار.

- مقدار أقصى تصريف مخمن للموجة في موقع السد وتناقص هذا التصريف كلما تقدمت الموجة في الحوض مؤخر السد.

ثانيًا: تحليل مساحات الإغمار، وهذا بدوره يتطلب ما يلي:

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press /سد الموصل /سحب ثالث

- إيجاد وقت وصول الموجة الفيضانية إلى المواقع المختلفة في حوض النهر مؤخر السد.
- رسم الخرائط التي توضح مناطق الانغمار وحدودها.
- رسم المقاطع العرضية للمجرى الفيضاني في المواقع المختلفة وتأشير عمق الجريان وسرعة التيار عليها في تلك المواقع.

ثالثًا: تخمين وتصنيف درجة المخاطر في المناطق مؤخر السد، ويقتضي لذلك ما يلي:

- إعداد دراسة لتوصيف حوض الانغمار ودرجة التطور والإعمار وحجم الكثافة السكانية فيه.
- اختيار الطريقه التي سوف يتم اعتمادها لتحديد درجة المخاطر.

4 - والآن.... ماذا يتوجب عمله؟

لقد بات من الواضح بعد كل الدراسات التي جرت حول سد الموصل، بأن السد يعاني من مشاكل بنيوية حقيقية، وأن هناك درجة عالية من الخطورة النسبية في احتمال انهياره.

ومن هذا المنطلق، انعقدت في ستوكهولم يومي (24 ـ 25) من أيار سنة (2016) ورشة عمل دولية أقامتها جامعة لوليو التكنولوجية السويدية.

وكان الهدف من تلك الندوة هو دراسة هذا الموضوع الخطير والتوصل إلى إجراءات وحلول تفرضها الحالة[20][19]. وشارك في الورشة عدد من الخبراء الدوليين المتخصصين في شؤون السدود بالإضافة إلى فريق عمل متخصص من الجامعة المذكورة.

وتضمّن البيان الختامي للورشة جملة من التوصيات بشأن المعالجات وإجراءات الحماية المطلوبة التي توصل إليها فريق الجامعة ودعمها الخبراء الدوليين بقوة.

وقد دعت التوصيات بشدة إلى ضرورة قيام الحكومة العراقية بتنفيذ تلك التوصيات، ومنها وجوب إعداد خطة إجراءات الطوارئ (خ. ا. ط).

وفيما يلي ترجمة لأحد الفقرات في البيان الختامي التي تدعو إلى إعداد خطة الطوارئ المذكورة:

«أورد فريق عمل جامعة لوليو عدم وجود خطة طوارئ متكاملة ممكنة التنفيذ فور انهيار سد الموصل، لذا يتطلب وضع مثل هذه الخطة وتفعيلها في أسرع وقت ممكن لتقليل الخسائر في صفوف قاطني حوض الانغمار مؤخر السد في حال وقوع الانهيار.

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press /سد الموصل/ سحب ثالث

ويجب أن تكون تفاصيل هذه الخطه متفقة مع المعايير والممارسات الدولية، وفي الوقت نفسه يقتضي مراجعة وتقييم الدراسات الحالية عن الانهيار وما يلحقه من نتائج؛ وذلك لتحديث الجوانب التي يستدعي الأمر تحديثها وخاصة في ضوء التطورات الحضرية والسكانية في الحوض».

لذا، وفي ضوء هذه التوصية يتطلب الأمر الإجراءات التالية:

• بالنظر لكون دراسة مركز البحوث المشترك في المفوضية الأوروبية هي أحدث دراسات الانهيار الافتراضي لسد الموصل وأكثرها شمولًا لحد الآن، لذا يتطلب الأمر تدقيقها وإيجاد أية مساحات فيها تقتضي التحديث، سواء في الفرضيات التي استندت عليها أو في تحديث قاعدة البيانات السكانية التي استخدمتها. كما يتطلب أن يؤشر على خرائط الإغمار الناتجة منها ما يمكن تسميته (خط الإنقاذ) في كافة المواقع. ويقصد بخط الإنقاذ هنا: الخط الكنتوري الأمين الذي يجب إخلاء السكان إلى ما بعده للتأكد من سلامتهم في مواقع الإخلاء المنتقاة.

• مما تقدم، يتطلب اختيار مخيمات الإخلاء في المواقع الأمينة وتأشير كافة الطرق البديلة الآمنة المؤدية إليها على الخرائط أيضًا.

• ضرورة إصدار قانون بتشكيل ما يمكن تسميته «اللجنة الوطنية لإدارة الأزمات» في حالة عدم وجود مثل هذا التشريع، وأن تكون كافة الجهات ذات العلاقة بمعالجة الأزمة وتبعاتها ممثلة بهذه اللجنة وبأعلى المستويات، وأن تجتمع اللجنة المذكورة حال صدور الإنذار الأولي بوقوع الكارثة. ولا يشترط أن يكون انهيار السد وحده معنيًّا بذلك بل يشمل الأمر وقوع أي كارثة سواء طبيعية كانت أو مسببة بشريًّا. ويجب أن تمتلك اللجنة كافة الصلاحيات للتصرف في عمليات الإنقاذ والإخلاء والتجهيز والإطعام وتقديم الخدمات الطبية من أجل تخفيف آثار الكارثة، ويتم التعاون والتنسيق التامين بين اللجنة والحكومات المحلية وحتى أدنى مستوى.

• إن الحاجة تدعو أيضًا إلى إنشاء وتطوير منظومة إنذار متقدمة مجهزة بأحدث وسائل الاتصالات، وبعدة بدائل في العقد والمراكز الحيوية كافة على مجرى النهر لتلقِّي الإنذار الأولي ونشره بين السكان المعنيين والاستفادة من كل دقيقة لتفعيل جهود الإخلاء إلى المواقع المحددة سلفًا، وكذلك من أجل دعم جهود الإنقاذ للمحاصرين منهم، وبالتالي تقليل الخسائر البشرية إلى حدها الأدنى.

• ولا شك بأن أية جهود فردية يقوم بها البعض من السكان لمغادرة مناطق الخطر سوف تكون ناجحة وتقلل من الخسائر إذا ما كانت مبنية على معرفتهم

السابقة بالتفاصيل والإجراءات كافة التي عليهم القيام بها عند تلقّيهم للإنذار. وهذا يعني، بأن على السلطات أن تقوم بحملات توعية وإرشاد مكثفة حول الأمر من خلال النشريات الحاوية على التعليمات اللازمة وعقد الندوات الشعبية على مستوى المدن والريف وإعطاء هذه التعليمات المصداقية اللازمة.

- يتوجب القيام بممارسات التدريب الدورية لفعاليات الإخلاء والإنقاذ، بضمنها عمليات الإخلاء باستعمال طائرات الهليكوبتر، وكذلك عمليات الإسقاط الجوي للمؤن والمعدات والتجهيزات، مع كافة الممارسات الأخرى مثل إخلاء المصابين والعلاج الطبي.
- إنشاء المخازن وساحات التجميع من أجل تجهيز وتكديس مواد الإغاثة الضرورية لجهود الإنقاذ والإخلاء ولإعادة الحياة إلى المستوى الذي كانت عليه قبل حصول الكارثة مع الاحتفاظ بخزين دائم من تلك المواد والتجهيزات في تلك المخازن.
- ضرورة توفير العدد الكافي من المعدات والآليات اللازمة لسحب المياه الراكدة المختلطة مع القاذورات ومياه المجاري وتنظيف الركام الذي سوف تخلفه الموجة بعد انحسارها، خاصةً وأن المياه الراكدة هذه سوف تغطي مساحات واسعة من السهل المنبسط جنوب سامراء وداخل مدينة بغداد ولفترة طويلة قد تدوم أسابيع أو ربما شهور، وبالتالي فسح المجال للقيام بالإجراءات الصحية للتعقيم وتقليل فرص انتشار الأوبئة والأمراض.
- من الواضح أن حجم العمل المطلوب هائل ومتنوع وقد يفوق قدرات أي دولة لوحدها القيام به، وبالأخص عندما ننظر الآن إلى العراق، وهذا يعني ضرورة التنسيق المسبق مع الدول الصديقة والوكالات الدولية المتخصصة ووضع ترتيبات التعاون والعمل المشترك من أجل قيام تلك الجهات بالتدخل الفوري حال ظهور علامات الخطر وتقديم المساعدة والإسناد اللازمين.

References / المصادر

[1] Al-Abayachi S. "Report on Mosul Dam" Iraqi House of Representatives. The Agriculture, water, and Marshes Sub-Committee. https://drive.google.com/fi-le/d/0Byn0PFg9wZ5FNHNQUmxLb0JzenM/view.

[2] Swiss Consultants Consortum. "Mosul Dam Flood Wave, Summary". Vol I.Feb.1984.

[3] Swiss Consultants Consortum. "Mosul Dam Flood Wave, Model Calibration". Vol II.Feb.1984.

[4] Swiss Consultants Consortum. "Mosul Dam Flood Wave, Calculation". Vol III. Feb. 1984.

[5] Guy b. Fasker "Gide for Selection roughness Coefficient "n" for Channels". Soil Conservation Service, USDA. Dec. 1963.
[6] Washington Group International & Black and Veatch. "Review of 1984 Dam break and Flood Wave study on Mosul Dam. Iraq". Final Report-Task order No.8. Mosul Dam, Appendix H. August 2005.
[7] Adamo N, Al Ansari M."Mosul Dam Full Story: What If The Dam Fails?," Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering, vol.6, no. 3, 2016, 245-269. ISSN: 1792-9040 (print version), 1792-9660 (online) Scienpress Ltd, 2016.
[8] Graham, W.J., 1998, "Estimating loss of life due to dam failure". Managing the risks of dam project development, safety and opinion. 18th, Annual USCOLD Lecture Series, Buffalo, New York. (1998).
[9] Wikipedia,the Free Encyclopedia. "2011 Tahoko Earthquake and Tsunami". https://en.wikipedia.org/wiki/2011_TC5%8Dhoku_earthquake_and_tsunami.
[10] Nadhir Al-Ansari, Nasrat Adamo, Issa E. Issa, Varoujan K. Sissakian and Sven Knutsson. "Mystery of Mosul Dam the most Dangerous Dam in the World: Dam Failure and its Consequences". Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering, vol. 5, no.3, 2015, 95-111 ISSN: 1792-9040 (print), 1792-9660 (online) Scienpress Ltd, 2015.
[11] Al-Taiee T.M, Rasheed M.M., 2009,"Simulation Tigris River Flood Wave in Mosul City due to hypothetical Mosul Dam" Thirteenth International Water Technology Conference, IWTC 13 2009, Hurghada, Egypt.
[12] Arcement G.J, Schnider M M, "Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficient for Natural Channels and Floods". USGS Water-Supply, Paper No.2339.Metric Version.
[13] Mahmud M.I, Al Azawi A.O, Abdul Majeed A.T, Khalil T.W, "Mosul Dam Break Scenario and its Effects on the Areas along the River down to Baghdad". Ministry of Higher Education and Scientific Research, Center for Catastrophes Data Management and Space Archives.Baghdad Nov. 2015 (in Arabic).
[14] Fread, D.L "DAMBRK: The NWS Dam-Break Flood Forecasting Model." Office of Hydrology, National Weather Service (NWS), Silver Spring, Md. 37 pp. 1980.
[15] Annunziato A, Andredakis I, Probst P. "Impact of flood by a possible failure of the Mosul Dam, Version 2". JRC technical reports. EU Commission. April 2016.
[16] Franchello F, Krausmann E."HyFlux2: a numerical model for the impact assessment of severe inundation scenario to chemical facilities and downstream environment" - EUR 23354 EN-2008.
[17] Hagberrg G. "Norrköpinsgbon vill räddaa jättedammen". Norrköpng Tidningen. January, 23rd. 2017.
[18] Hanna G. " Mosul Dam Flood Wave". http://www.chaldeansonline.org/Mosul-DamBreachStudy.pdf
[19] Adamo. N, Alansari N. "Mosul Dam. The Full Story. Part1. Engineering Problems of Mosul Dam". Stockholm workshop on Mosul Dam. 24-25 May. 2016
[20] Adamo N, Alansari N."Mosul Dam. The Full Story. Part 2.Safety Evaluations". Stockholm workshop on Mosul Dam. 24-25 May 2016.

ملحق (1)

خلاصة بملاحظات مجلس الخبراء العالمي لسد الموصل عن سير الأعمال في ستارة التحشية كما وردت في تقارير المجلس للفترة (1981 ـ 1988)

التسلسل	التاريخ	التفاصيل
الاجتماع الثامن	تشرين أول (1981)	عرض المقاول نتائج التحشية في الحقول التجريبية التي أجراها في الجانب الأيمن، وقد استهدفت الطبقات الجيولوجية من الطفل الطيني المتشقق والصخور الكلسية، وأوصى المجلس باعتماد طريقة تحشية المراحل من الأعلى إلى الأسفل، وبالتالي إمكانية استعمال ضغوط عالية مع إمكانية استعمال التحشية الكيمياوية في المرحلتين الأولى والثانية، كذلك استخدام مزيج التحشية السمنتي المستقر بإضافة (4%) بنتونايت في بقية المراحل أو استخدام مواد ملدنة بدل البنتونايت. كما أوصى باستخدام سمنت فائق النعومة حيث إن المستعمل في التجارب لا يلبي متطلبات العمل.
الاجتماع التاسع	شباط (1982)	سبق هذا الاجتماع المباشرة بستارة التحشية العميقة، وأظهرت التقارير وجود استهلاكات عالية جدًا من مزيج التحشية مع وجود مناطق ذات نفاذية تجاوزت (50) لوجون في أعماق تصل (90) مترًا. أوصى المجلس بتعديل تصميم الستارة بحيث يتم تعميق كافة صفوف التحشية الثلاثة لغاية اختراقها الطبقات الكتيمة في الأسس بدلًا من توقف الصفين الأمامي والخلفي في عمق (90) مترًا. ووافق المجلس أيضًا على مقترح الاستشاري الخاص بإنجاز تحشية الصفين الأمامي والخلفي أولًا، ثم تحشية الصف الوسطي حتى يتسنى استخدام ضغوط عالية للتحشية. في الوقت نفسه نوقش موضوع ظهور كهوف كبيرة تحت أساسات المحطة الكهرومائية في طبقة (GB3)، وقد أوصى المجلس بضرورة إملاء هذه الكهوف والقيام بتنفيذ تحشية تقوية لتلك المنطقة في أساسات المحطة. وعلى الرغم من أن الأمر لا يخص ستارة التحشية إلا أننا نذكره للتعريف بموضوع صخور (GB3) التي وجدت في تركيب الصخور الكلسية الطباشيرية في عمق الأسس (80) مترًا في مقطع النهر.

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press /سد الموصل /سحب ثالث

التفاصيل	التاريخ	التسلسل
اطلع المجلس على تقارير التحشية في المقاطع (87 ـ 114) و(66 ـ 71) وكانت النتائج مرضية بعد إنجاز النسق الرباعي (Quaternary) من الثقوب، وخاصة في الأماكن التي جرى فيها استخدام ضغوط تحشية عالية نتيجة لوجود أحمال إضافية. وتراوحت معدلات الاستهلاك بين (220) كغم/متر في الصف الأمامي و(120) كغم/متر في الصف الخلفي، بينما كان معدل استهلاك المزيج في الصف الوسطي بين (27) كغم/متر إلى (36) كغم/متر. وقد أعطى ثقب تدقيقي مائل نتائج مرضية للاستهلاك لغاية عمق (15) مترًا، أما بعد ذلك العمق فكانت الاستهلاكات عالية جدًا، وقد فسر ذلك باحتمال تجاوز الثقب نطاق الستارة المحشاة إلى ما جاورها من طبقات، وكانت هناك صعوبات في تحشية المقاطع (112 ـ 113 ـ 114). وكانت قيم النفاذية في الثقوب الاستكشافية الأربعة هنا عالية جدًا، كما أظهرت كميات الاستهلاك من المزيج قيمًا عالية لغاية عمق (75) مترًا ظهر بعدها طبقة كتيمة تقريبًا استمرت إلى عمق (90) مترًا أعقبتها بعد ذلك مناطق عالية الاستهلاك، مما حدى بهيئة الإشراف على العمل اقتراح مد الصف الوسطي إلى عمق (135) مترًا، وسوف ينتظر المجلس نتائج هذا العمل لإعطاء الرأي النهائي. أما في الجانب الأيسر فقد كانت المشكلة الرئيسية تكمن في الاستهلاك الكبير للمزيج في طبقة (F-Bed) التي تلي طبقة الطفل العليا، لذا اقترح المجلس الصعود بإملائيات السد هناك لزيادة الأحمال على الأسس (Ovrburden) وبالتالي استخدام ضغوط تحشية كبيرة. كما أوصى المجلس بتعميق الستارة بحدود (75) مترًا للوصول إلى الطبقات الجيولوجية الكتيمة. لاحظ المجلس أيضًا بأن الأسس التصميمية للستارة لم يتم حسمها لحد الآن من قبل الاستشاري حيث لا زال الأخير ينتظر المزيد من نتائج الثقوب التدقيقية الموثوقة، لذا طلب المجلس أن يقوم الاستشاري بإجراء دراسة للرشح تحت أسس السد برسم وتحليل شبكة تدفق الجريان (Flow net analysis) من أجل التوصل إلى كميات الرشح وضغط الإصعاد (Uplift Pressure) المتوقعين وبناء على ذلك التوصل إلى الأسس المطلوبة. وأخيرًا طلب المجلس ضرورة الاحتفاظ بصناديق اللباب الصخري المستخرج من ثقوب التحريات والعناية بها من أجل الرجوع إليها كلما تطلب الأمر ذلك.	حزيران (1982)	الاجتماع العاشر

التفاصيل	التاريخ	التسلسل
لم يلحظ مجلس الخبراء وجود فعاليات تذكر في تنفيذ ستارة التحشية العميقة تحت السد الرئيسي حيث انشغل المقاول بتكثيف العمل في تحشية بساط التحشية، غير أنه بين في ذلك الوقت بأن النتائج المستحصلة من تلك التحشية ستكون ذات فائدة كبيرة تنعكس على تنفيذ ستارة التحشية العميقة. وأكد المجلس في تعليقاته على الأهمية البالغة لهذه الستارة لمنع ذوبان الجبسم في الأسس، وهو أمر بالغ الحيوية لسلامة السد ومنشآته. وفي هذا المجال قدم الاستشاري دراسته التي طولب بها في الاجتماع السابق لتقدير كميات مياه الرشح في الأسس، حيث بلغت كمية الرشح (0,4) لتر لكل متر من طول السد، وبين أن هذه الكمية ستؤدي إلى ذوبان الجبسم بحيث يكون الهبوط الكلي للسد (0,33) متر خلال (100) سنة. وكان رأي الاستشاري أنه وفي حالة كون الهبوط تفاضليًا فإن أبعاد جسم السد عامة واللب خاصة، إضافة إلى السُمك الكبير لطبقات المرشحات المتعددة تجعل السد في مأمن من آثار هذا الهبوط. في تعقيب المجلس على هذا الأمر بين أن الخطر الحقيقي يكمن في حصول الذوبان الذي قد يتركز في مسالك محددة مما يؤدي إلى تآكل داخلي في الأسس (Pipng) وقد يتطور الأمر لاحقًا إلى جريان خطير؛ لذا فإن الأمر يتطلب أن تكون ستارة التحشية كتيمة وخالية من العيوب أو مناطق الضعف وغلق كافة مسالك الرشح مهما كانت دقيقة. أما تحليل الاستشاري بشأن معدلات ذوبان الجبسم المتوقعة؛ فإن هذا الذوبان بحسب دراسته سوف يتوقف إذا ما تم تنفيذ الستارة والوصول بالنفاذية خلالها إلى (2) لوجون في القسم العلوي منها و(5) لوجون في الجزء السفلي منها، وهو ما اقترحه الاستشاري كأسس تصميمية للستارة العميقة تحت السد الرئيسية. وافق المجلس على هذه الأسس وأضاف إلى ذلك التوصية بأن لا يقتصر عمق الستارة على (100) متر كما اقترح الاستشاري، بل يجب تجاوز ذلك العمق بموجب الواقع الفعلي للطبقات الجيولوجية مع ضرورة تكثيف عدد ثقوب التحشية في الصف الواحد إلى أكبر عدد ممكن بتقليل المسافات بينها واستخدام ضغوط تحشية عالية ومزيج تحشية مستقر بإضافة البنتونايت إلى المزيج السمنتي بنسب مناسبة.	تشرين ثاني (1982)	الاجتماع الحادي عشر

التفاصيل	التاريخ	التسلسل
استلم المجلس تقريرًا من هيئة الإشراف على العمل يخص أعمال تنفيذ ستارة التحشية ومن ضمنها تحشية الستارة العميقة، وتبين من النقاش ضرورة تقليص المسافات بين الثقوب إلى أقل من ثلاث أمتار في المقاطعات (112 ـ 113 ـ 114)؛ أي: المباشرة بالنسق الرباعي وربما الخماسي أيضًا مع استخدام مزيج مستقر وضغوط تحشية عالية، كما سبق للمجلس أن أوصى، خاصة وأن الأسس التصميمية البالغة (2) لوجون في أول (30) متر و(5) لوجون فيما بعدها لم تتحقق سوى في (10%) إلى (15%) من كافة المراحل، كما أن بعض النتائج تجاوزت (60) لوجون في العديد من المراحل وأن قسمًا من تلك المراحل قد استعمل فيها ضغوط تزيد بمقدار (50%) عن المراحل الباقية ومع تجاوز الاستهلاك (72) كغم/ متر. خلال تلك الفترة تمت التحشية في المقاطع (87) لغاية (94) من رواق التحشية فتمت تحشية الثقوب الجيولوجية الاستكشافية أولًا، وقد ظهر فيها مشكلتان: الأولى: مصادفة كهوف كبيرة في أعماق تتراوح بين (25) مترًا إلى (80) مترًا تحت الرواق. والثانية: وجود مياه أرضية ارتوازية، لذا رأى المجلس ضرورة استعمال أنواع خاصة من المزيج علمًا بأنه قد تم في الموقع إضافة رمل إلى المزيج، وقد أوصى المجلس باستخدام مزيج تحشية كثيف وكذلك تجربة التحشية الكيمياوية بالسليكا. وقد تمت تحشية سبعة من الثقوب الاستكشافية في المقاطع (62 ـ 54) وكذلك تحشية الصف الأول من الستارة وقد استعملت ضغوط أعلى من السابق في أول (12) مترًا من العمق تحت رواق التحشية وتجربة مزيج حاوي على (10%) بنتونايت. أما في المقاطع (16 ـ 42) تحت السد الثانوي فقد تم القيام بتجارب بضغوط تتراوح بين (0.25 - 0.50 × عمق المرحلة المحشاة) واستعملت نسب مختلفة من البنتونايت تبدأ بنسبة (4%)، وكانت المشكلة في هذا الجزء قلة ارتفاع الإملائيات وبالتالي قلة الأحمال على الأسس عند التحشية، لذا قدر المجلس أن التحشية الكيمياوية هنا سوف تعطي نتائج أفضل. وكان المجلس قد أوصى سابقًا على استقدام خبير متخصص بالتحشية لتقييم الوضع العام وهو الخبير الفرنسي (لوكا)، ونوقش تقرير الخبير المذكور في هذا الاجتماع ونصّت توصياته على: تنفيذ الصفوف الأمامية من الستارة أولًا وأن تبدأ التحشية بفاصلة (3) متر بين الثقوب وتنصيف المسافات حسب الحاجة ثم تحشية الصفوف الوسطية بعدها وتبدأ المسافة الفاصلة بمقدار (1,5) مترًا مع استخدام مزيج مستقر بصورة روتينية وإضافة السليكا عند الضرورة، ويكون ضغط التحشية الاعتيادي (0,25 × العمق) مقاسًا بوحدة (البار) ويحدد ضغط الرفض أي عندما يصل الاستهلاك إلى أقل من (2) لتر/ متر بمقدار (1,5 × العمق)، هذا وتخفض الضغوط عندما يكون عمق المرحلة قليلًا بسبب كون مستوى الإملائيات في السد قليلًا وتكون التحشية بتحشية المراحل تنازليًا.	شباط (1983)	الاجتماع الثاني عشر

التفاصيل	التاريخ	التسلسل
ناقش المجلس المذكرة المرسلة له من الاستشاري وكانت النخسة الأصلية موجهة إلى هيئة الإشراف على التنفيذ وتضمنت (تعليمات لأعمال التحشية)، كما استلم مذكرة ثانية بنفس العنوان تمثل تعديلات وتحسينات على الأولى. والمذكرتان هما تعليقات الاستشاري على طريقة تنفيذ العمل (Method Statement) أعدها المقاول الثانوي (روديو ـ كيلر) وعنوانها (تفاصيل طريقة التنفيذ ـ ستارة التحشية العميقة ـ السد الرئيسي). استنتج المجلس من دراسة هذه الوثائق والاطلاع على سير العمل في الموقع بأن أعمال التحشية هي الآن تحت السيطرة باستعمال الضغوط العالية وأنواع المزيج السمنتي المستقر في هذه الجيولوجيا الصعبة. لذا أعاد المجلس ما سبق وبينه: «أن تقنية التحشية ليست أمرًا يمكن توصيفه دفعة واحدة مثل وصفة الطبيب». كانت التقنية المستعملة باستخدام مزيج ثقيل فيه نسبة الماء/السمنت تساوي (2.5:1) ونسبة البنتونايت (14%) ثم التدرج إلى محلول خفيف يكون فيه نسبة الماء/السمنت (4:1) ونسبة البنتونايت إلى السمنت (20%) لإنهاء كل مرحلة. إلا أن المجلس لم يفضل استخدام المحاليل الكيمياوية المقترحة من قبل المقاول، اللَّهُمَّ إلا في المناطق ذات الاستهلاك الواطئ جدًا. واعتبر المجلس أن المزج بين التحشية بطريقة المراحل نزولًا في أول (40) مترًا من العمق وتحشية المراحل صعودًا فيما دون ذلك يعتبر أمرًا مقبولًا. وقد نوقش أيضًا موضوع تنفيذ الثقوب في النسق الرباعي أي بفترات فاصلة بين الثقوب (1,5) مترًا وبيّن مهندسو الموقع عدم الحاجة لها في ضوء الفحوصات في الثقوب التدقيقية. إلا أن المجلس طلب عدم التسرع في اتخاذ قرار بشأنها لحين توفر نتائج كافية. واقترح المجلس أن يتم حفر بئر رباعي واحد في كل موقع أنجزت فيه التحشية الأساسية ويتم القيام بفحص (لوجون) فيه فإذا ما تجاوز الاستهلاك في أي مرحلة فيه كمية (200) كغم/متر عندئذٍ يتم الاستمرار بحفر هذه الثقوب. وناقش المجلس أيضًا امتدادات الستارة في الجانب الأيسر وفي الجانب الأيمن وارتأى المباشرة بالجانب الأيسر لتوفر معلومات جيولوجية كافية في ذلك الوقت، وبين أن الهدف هو ليس لمنع الرشح نهائيًا وإنما السيطرة عليه ومنع حصول تدفقات مركزة في طبقة (F-Bed) ولا في طبقة الجبسم تحتها، وبالتالي تعميق الستارة بدرجة كافية لاختراق عموم الطبقة الكلسية المتغيرة السمك. كما أيد المجلس اختيار أعماق الستارة بين (30) مترًا و(50) مترًا وأن يكون طولها الكلي (1500) متر. أما بالنسبة لامتداد الستارة في الجانب الأيمن فلا تزال الحالة الجيولوجية للأسس هناك غير واضحة لعدم إنجاز ثقوب التحري الاستكشافية لغاية ذلك الوقت.	حزيران (1983)	الاجتماع الثالث عشر

التسلسل	التاريخ	التفاصيل
الاجتماع الرابع عشر	تشرين أول (1983)	لم يتوفر لنا من هذا التقرير سوى التوصيات التي تضمنت الطلب من المقاول الاستمرار بالتجارب وتدقيق النتائج لمختلف أساليب التنفيذ وأنواع المزيج المستخدم على أن تغطي التجارب كافة الاحتمالات المتوقعة في جيولوجية الأسس. كما أوصى الاستشاري بدراسة مخاطر الرشح التي قد يسببها الرشح الزائد في الجانب الأيمن.
الاجتماع الخامس عشر	شباط (1984)	استلم المجلس من هيئة الإشراف على التنفيذ تقريرًا يفيد بحصول هبوط متفاوت في رواق التحشية يصل إلى أقصى قيمة بحدود (30) سنتيمترًا مع ظهور بعض التشققات في الخرسانة في المفاصل بين مقاطع الرواق المتجاورة، ومن الحسابات التي أجريت يتوقع أن يصل الهبوط إلى أقصى قيمة بحدود (60) سنتيمتر عند اكتمال إملائيات السد. وفسر الأمر بأنه ناتج من انضغاط طبقة الجبسم (GB3) المتكهفة الواقعة على عمق قليل تحت أساس الرواق مباشرة. واعتبر المجلس أن الموضوع لا يشكل خطرًا يذكر طالما أن الهبوط لم يحصل، أو يتركز في نقطة واحدة. وأوصى باستمرار الرصد والمراقبة. استلم المجلس أيضًا تقريرًا عن العمل المنجز في الستارة العميقة منذ البداية لغاية (1983)، ويبدو من التقرير بأن العمل كان مستوفيًا لمتطلبات مرحلة تحويل مجرى النهر لكنه لن يكون كذلك للمراحل التالية. وقد سبق للمجلس أن طلب من المقاول القيام بتجارب لتحسين الأساليب وخلطات المزيج مع حفر وتحشية ثقوب النسق الرباعي إلا أن نتائج فحوص النفاذية بعد تحشية ثقوب التحشية الاستكشافية كانت بحدود (20) لوجون ولم تتحقق القيم (2) لوجون أو (5) لوجون خاصة وأنه لم يتسنى استعمال ضغوط عالية بسبب عدم الارتفاع الكافي في إملائيات السد لذا تم الطلب مجددًا استخدام مثل هذه الضغوط بعد الارتفاع بالإملائيات. ومن النتائج المتحققة في التحشية التجريبية التي جرت في المقطع (84) باستخدام أسلوب أنبوب المانشيت (Tube-a-Manchette) وبدائل من المزيج تراوحت بين المزيج السمنتي ومزيج هلام البنتونايت فقد فشلت التجارب كافة لتحقيق الأسس التصميمية في طبقات صخور الكلس الطباشيرية التي يتخللها الجبسم والأنهايدرايت وذلك في عمق يتراوح من (50) مترًا إلى (65) مترًا تحت رواق التحشية. من تحليل النتائج كان الاستنتاج هو ضرورة الالتزام بتوصيات الخبير لوكا الذي تم بحث تقريره في الاجتماع الثاني عشر خاصة ما يتعلق بضغوط التحشية العالية وأنواع المزيج ولزوجتها وتتابع استخدامها على أن تتم مراجعة الأمر برمته في اجتماع حزيران القادم. واتفق المجلس مع الاستشاري حول إمكانية السماح بما لا يزيد عن (5%) من كل المراحل بأن تزيد نفاذيتها عن (5) لوجون بشرط أن لا يقل عدد المراحل المعنية عن (20) مرحلة.

التسلسل	التاريخ	التفاصيل
الاجتماع السادس عشر	حزيران (1984)	رأى المجلس من تقرير قدمته هيئة الإشراف على التنفيذ بأن النتائج المتحققة في المناطق التي تمت معالجتها مؤخرًا كانت مرضية. ويمكن اعتبار أن تقنيات التحشية قد تم إتقانها في بعض المقاطع المنجزة ولا يزال هناك مقاطع أخرى لا تزال بانتظار الإنجاز، كما لا يزال هناك المزيد من التحشية التجريبية والدراسة المتعلقة بخلطات المزيج وتسلسل العمل خاصة في بعض المناطق الصعبة ذات الخصوصية. ويبدو أن تحشية المدملكات في الجانب الأيسر قد تمت بنجاح وأعطت نتائج مقبولة بعد إنجاز النسق الخماسي من ثقوب التحشية (Quinary Pattern) واستخدام التحشية الكيمياوية باستعمال الهلام الفائق (Super Gel). تم بحث المشاكل التي تعترض تحشية الطبقات الكلسية الطباشيرية التي تتخللها طبقات من الجبسم والأنهايدرايت وكذلك عدم اكتمال الدراسة التقويمية التي جرت في المقطع (84)، لذا وافق المجلس على مقترح المقاول بإجراء تجارب جديدة في المقاطع (80، 81 ، 82 ، 83) والهدف الأساسي هو إدخال تحسينات على تقنية التحشية حيث كان هناك أفكار باستخدام الهلام الفائق (Super Gel) أولًا، يلي ذلك استخدام مزيج سمنتي مستقر تحت ضغوط عالية قد تصل إلى (40) بار. كما اقترح المقاول أن يتم إجراء المزيد من التجارب للتأكد من الحصول على نتائج مرضية في تحشية الطبقات الجبسية خاصة وأن الهدف المطلوب من ستارة التحشية هو منع ذوبان الجبسم بواسطة الرشح. وفي هذا المجال أوصى المجلس باستدعاء الخبير لوكا مرة أخرى لدراسة وتقويم آخر التطورات في العمل. استلم المجلس أيضًا من الاستشاري الدراسة الهيدروجيولوجية عن حالة المياه في الجانب الأيمن التي سبق أن طالب بها من أجل تصميم امتداد الستارة في الجانب الأيمن. ولقد تمت الدراسة باستخدام نموذج رياضي ثلاثي الأبعاد وتم عرض ثلاثة بدائل لامتداد الستارة المذكورة، حيث كانت البدائل الثلاثة مختلفة بالطول وبالاتجاه. ومن مناقشة هذه الدراسة وافق المجلس على اختيار البديل الذي أوصى به الاستشاري وهو البديل الذي يبلغ فيه طول امتداد الستارة (400) مترًا وينحرف عن اتجاه محور السد بزاوية صغيرة باتجاه المقدم باعتباره الأفضل من الناحية الفنية والاقتصادية من بين البدائل الثلاثة المقترحة.

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press /سد الموصل /سحب ثالث

التسلسل	التاريخ	التفاصيل
الاجتماع السابع عشر	تشرين أول (1984)	استلم المجلس من هيئة الإشراف على التنفيذ تقريرًا عن تقدم العمل في ستارة التحشية، وبين التقرير تفاصيل الإنجازات والإخفاقات، وقدر التقرير أن (40%) من الستارة قد أنجزت بالكامل، بينما لا يزال (20%) منها يحتاج إلى أعمال الإنهاء (Finissage)، و(40%) المتبقي بعيد كل البعد عن الإنجاز، ومن هذه الأخيرة مناطق تحت المسيل وفي مقطع النهر وفي امتدادي الستارة في الجانبين الأيمن والأيسر، ويمكن تخمين النسبة الكلية للإنجاز بمقدار (50%). لذا حث المجلس ذوي العلاقة على بذل جهود استثنائية لإنهاء التحشية التجريبية التي لا زالت مستمرة لتحشية مناطق الصخور الكلسية الطباشيرية التي تتخللها صخور الجبسم والأنهايدرايت في مقطع النهر حيث إن هذا الأمر يرتبط بصورة مباشرة بسلامة السد، وطالب المجلس بوضع برنامج زمني صارم يحدد أولويات الأعمال واتباع هذا البرنامج بحذافيره، وشدد أيضًا على إنجاز تحشية الثقوب الأفقية والمائلة من رواق التحشية من أجل الربط المحكم بين قمة الستارة وبساط التحشية (راجع الفصل السادس ـ شكل 2). ورفض المجلس مقترحًا بتقليص طول الثقوب التدقيقية إلى (6) متر وأوصى بإبقائها على طولها الأصلي. ومن توصيات المجلس المهمة تأكيده على المباشرة فورًا بتنفيذ امتداد ستارة الجانب الأيسر لتلافي حصول تدفقات خطرة من مياه الرشح في هذا الجانب عند ارتفاع منسوب الخزان في الإملاء الأولي، وأن تتم المباشرة أولًا في المنطقة المنخفضة (بعد نهاية السد الثانوي مباشرة) واستهداف الطبقات ذات قابلية التآكل العالية، وحث أيضًا على تكثيف العمل في امتداد الستارة في الجانب الأيمن وتركيز الجهود في أول (200) متر منها المتاخمة للسد مباشرة وأن تكون المسافة الفاصلة الأولية بين الثقوب (2) متر. غني عن القول فإن المجلس اهتم وأكد على التعجيل بأعمال التحشية في مقطع النهر، كما ترك بحث الأمور التفصيلية عن أساليب التحشية والضغوط وأنواع المزيج وغيرها لكي تدرس من قبل الخبير لوكا وبيان رأيه فيها. ويذكر بهذا الصدد أن أعضاء المجلس قاموا بزيارة وزير الري يوم (16) تشرين الثاني وقدموا تقريرًا يتضمن مقترحًا مفاده المباشرة بالخزن الأولي في أيار (1985) أي قبل موعده المقرر في تشرين الثاني (1984)، والسبب في ذلك هو دفع المقاول لتكثيف العمل في الفقرات التي تقع على المسار الحرج وحتى يكون بالإمكان إجراء عملية الخزن بصورة بطيئة عندما يكون الجريان في النهر قليلًا مما يسمح بمعالجة أي خلل في السد قبل وقت كافٍ قبل موسم الفيضان في شتاء وربيع (1985)، وقد وافق الوزير على عقد اجتماع استثنائي للمجلس في كانون الأول لبحث الموضوع مع الاستشاري والمقاولين.

التسلسل	التاريخ	التفاصيل
تقرير المجلس إلى وزير الري، طي الرسالة المؤرخة في (20) تشرين الأول (1984)	(20) تشرين الأول (1984)	تضمن التقرير دراسة قام بها المجلس لتحديد الفقرات الحاكمة في إنجاح عملية الإملاء الأولي المبكر للخزان من دون مخاطر. وتضمن التقرير نسب تقدم العمل لغاية تاريخه في إملائيات السد، وأعمال التحشية، وفي تنفيذ المسيل، وأخيرًا في إنجاز أعمال محطة الخزن بالضخ، واستنتج المجلس من تلك الدراسة بأن أعمال التحشية تمثل العائق الأكبر والأخطر الذي يعيق الإملاء المبكر للخزان، وأكد على ضرورة إجراء تغيرات جوهرية وفورية على منهاج تنفيذ العمل خاصة فيما يتعلق بفقرات التحشية لتقليل المخاطر إلى المستوى المقبول، وفي كافة الأحوال وبصرف النظر عن موعد المباشرة بالخزن يتطلب تحقيق أهداف محددة لمنع حصول تدفقات كبيرة وخطيرة للمياه في الأسس. لذا يتوجب القيام بما يلي فيما يخص تحشية الستارة العميقة تحت السد الرئيسي والسد الثانوي: ـ مضاعفة معدلات العمل في تنفيذ أعمال التحشية بصورة عامة. ـ إعطاء الأولوية للمعالجات في المناطق الضعيفة. ـ تنفيذ عدد من بيزومترات المراقبة في مقدم ومؤخر ستارة التحشية تنفذ في رواق التحشية وبفترة فاصلة لا تتجاوز (30) متر وقد سبق تأكيد ذلك في اجتماعات سابقة. ـ تنظيم مراقبة ومتابعة صارمة على تنفيذ أعمال التحشية وبصورة يومية. يتطلب وقبل كل شيء التوصل إلى الأسلوب النهائي الناجح لتحشية طبقات الصخور الكلسية الطباشيرية. ـ بالنسبة لستارة التحشية تحت منشأ السيطرة للمسيل اعتبر المجلس بأن هناك الوقت الكافي لتنفيذها حيث إنها تنفذ من رواق التحشية الموجود في الجزء السفلي من منشأ السيطرة للمنشأ المذكور. ـ أما عن امتداد الستارة في الجانب الأيسر، فقد بين المجلس وجوب إنجاز (50%) على الأقل من هذه الستارة قبل الإملاء الأولي لمنع حصول تدفقات قوية من مياه الرشح في طبقة (F-Bed) عندما يصل المنسوب إلى منسوب (290)، خاصة وأن التحشية في هذا الجزء تعتبر غير معقدة. ـ أبدى المجلس عدم رضائه عن تنفيذ امتداد ستارة الجانب الأيمن بطريقة تنفيذ المراحل تصاعديًا من الأسفل إلى الأعلى، حيث إن هذه الستارة مصممة لمنع خطر حصول ضغط إصعاد عالي في مؤخر الكتف الأيمن وعلى أساسات المحطة الكهرومائية، كما أن جولوجيهة الأسس هنا معقدة للغاية لذا يجب اتباع الأسلوب المتبع في الستارة تحت السد الرئيسي، وفي الوقت نفسه زيادة عدد الحفارات ومعدات الحقن لدفع العمل بصورة أسرع، مع اعتماد هدف أولي لإنجاز (200) متر من الستارة التي تلي مباشرة بعد الكتف الأيمن بصورة كاملة بفترات فاصلة للثقوب تبلغ (2) مترًا حسب التصميم بدلًا من الأسلوب الذي أتبعه المقاول بالعمل على طول الستارة وفي الوقت نفسه بفترات فاصلة قدرها (4) أمتار ثم العودة لتنصيف المسافات إلى (2) متر.

التسلسل	التاريخ	التفاصيل
الاجتماع الاستثنائي في كانون الأول (1984)	كانون الأول (1984)	عقد هذا الاجتماع الاستثنائي لدراسة إمكانية القيام بعملية الإملاء المبكرة في أيار (1985) بدلًا من الأول من تشرين الثاني (1985) كما في البرنامج الأصلي. وتم تدقيق نسب العمل المنجز في كافة الفعاليات على المسار الحرج حيث لوحظ عدم وجود مشكلة فيها عدا أن هناك انحراف واضح في تحشية الستارة العميقة عن الأهداف الواجبة التحقيق في حالة الإملاء المبكر. ومن التقرير وجد بأن تحشية الستارة في مقطع النهر لا تزال في المراحل التجريبية ولم يتم حسم موضوع أسلوب التحشية ولا حتى أنواع المزيج المستخدم، فعلى الرغم من تحقق بعض النجاح في تحشية سلسلة الصخور الكلسية الطباشيرية التي تتخللها طبقات الجبسم والأنهايدرايت إلا أن هذا النجاح لم يتم إلا باستعمال أسلوب التحشية بواسطة أنبوب المانشيت (Tube-a Manchette) (راجع: الهامش 28 من الفصل السادس)، وهذا الأسلوب بطيء جدًا ولا يحقق الإنجاز المطلوب في الوقت المتاح. وقد يكون بالإمكان استعمال الأنبوب ذو السدادت المتعددة (MPSP) (راجع: الهامش 27 من الفصل السادس)، وهو أسلوب أسرع ولكنه أقل كفاءة من الأسلوب الأول، وحتى في حالة الدمج بين الأسلوبين فإن الإنجاز الكلي في الستارة سوف لن يكون متقدمًا بصورة مرضية في أيار القادم. كذلك تمت دراسة إمكانية تخفيف الأساس التصميمي المستهدف في الجزء العلوي من الستارة وجعله مؤقتًا (5) لوجون لغاية الإملاء الأولي على أمل العودة لاحقًا وقبل ارتفاع المنسوب إلى درجة عالية لتحقيق (2) لوجون المطلوبة، ووجد المجلس بأن هذا الأمر لا يستحق الكلفة الإضافية ولا حتى المجازفة بإعادة العمل مجددًا لتحقيق القيمة المذكورة. من كل ما تقدم توصل الجميع إلى القناعة التامة بأن الإملاء المبكر لا يخلو من مخاطر كبيرة وبالتالي الإبقاء على البرنامج الأصلي. كما أكد المجلس على ضرورة إعادة النظر في برنامج تنفيذ ستارة التحشية العميقة بوضع برنامج أمثل يدمج أساليب العمل المختلفة لتحقيق النجاح المطلوب في تشرين الثاني من (1985). وأخيرًا أصر المجلس على ضرورة إنجاز بيزومترات المراقبة من رواق التحشية التي سبق أن تم الاتفاق عليها وأن يكون ذلك قبل المباشرة بالإملاء الأولي للخزان.

التسلسل	التاريخ	التفاصيل
الاجتماع الثامن عشر	نيسان (1985)	بحث المجلس في هذا الاجتماع تقدم العمل في كافة الفعاليات الواقعة على المسار الحرج وبالأخص ستارة التحشية العميقة، واستلم عددًا من التقارير من الاستشاريين السويسريين وهيئة الإشراف على التنفيذ ولاحظ وجود اختلافات بالآراء بين خبراء التحشية حول نتائج العمل. وقسم المجلس هذه التقارير إلى مجموعتين وكما يلي: أولًا: تقارير عن نسب تقدم العمل لحين ذلك التاريخ في الأجزاء المختلفة ونتائج الفحوصات التدقيقية فيها مع تقييم مستويات الأمان التي تحققها نسب الإنجاز تلك في ضوء ارتفاع منسوب الخزان الوقتي المتحقق آنذاك. علمًا بأن الفارق بالضاغط المائي المتحقق بين منسوب المياه في مقدم ومؤخر السد كان بحدود (20) مترًا إلى (30) مترًا، واستلم المجلس أيضًا تصورات الاستشاري عن الإجراءات المطلوبة لتأمين سلامة السد في حالة تطور أية حالة اضطرارية. ثانيًا: تقارير عن التحسينات الواجب إدخالها على تقنيات التحشية من أجل زيادة كفاءة المعالجات وتشمل تحسين أنواع المزيج والخلطات والمعدات المطلوبة وتحسين إجراءات التدقيق، بالإضافة إلى النتائج التي تم الحصول عليها عند استخدام مزيج الهلام الفائق (Super Gel). وقد طلب المجلس استقدام الخبير المتخصص لوكا لدراسة هذه التفاصيل وبيان رأيه فيها. أدى ضيق وقت المجلس إلى تركيزه البحث على (أولًا) وترك القضايا في (ثانيًا) إلى الخبير السيد لوكا. واقترح أيضًا عقد اجتماع يوم (26) حزيران على هامش المؤتمر العام للهيئة الدولية للسدود الكبيرة الذي ينعقد في لوزان في تلك الفترة، وأن يجتمع مهندسو وخبراء تحشية هيئة الإشراف على التنفيذ والاستشاري إضافة إلى حضور الخبير لوكا لبحث آخر المستجدات والوصول إلى توافق بالرأي، كما أن أعضاء مجلس الخبراء سوف يتواجدون أيضًا لهذا الغرض. أما ما يخص الفقرة (أولًا) أعلاه ولعدم اكتمال العمل في ستارة التحشية، واحتمال ارتفاع منسوب الخزان إلى حوالي منسوب (280) أو تجاوز ذلك؛ فإن ذلك يعني ضرورة اتخاذ إجراءات فورية لتأمين الأسس وحمايتها من التآكل الداخلي وعدم حصول تدفقات للرشح فيها. غير أن المجلس بيّن بأن هذا الارتفاع بالمنسوب محدود ووقتي، لذا وافق على تخفيف المعايير التصميمية مؤقتًا في العمق من (5) لوجون إلى (10) لوجون والعودة لاحقًا لإنجاز الستارة وفقًا للمعايير المطلوبة وذلك بموجب اقتراح الاستشاري. ولاحظ المجلس في الوقت نفسه بأن (15%) من المراحل في الثقوب التدقيقية في الجانب الأيمن لم تحقق حتى قيمة (10) لوجون، وكان هناك عدد من الثقوب في المقاطع (102 ـ 104) لم تدقق بعد. وأظهرت نتائج التدقيق أيضًا وجود مقاطع بين مقطع (79) و(113) تراوحت فيها قيم النفاذية المتبقية بين (20) و(30) لوجون في سلسلة الصخور الطباشيرية والجزء العلوي من طبقة صخور الجريبي. (يتبع)

التفاصيل	التاريخ	التسلسل
وجد المجلس أيضًا بأن كافة المراحل التي لم تتحق فيها المعايير التصميمية موجودة عميقًا في الأسس لغاية مقطع (101). وقد أطلق عليها اسم الشبابيك أو النوافذ (Windows)، وقد قبل بنتائج فحوصات النفاذية العالية نسبيًا ولكن بصورة مؤقتة كما ورد أعلاه، وبشرط توفير مجموعة من الأمور التي شدد على تحقيقها وهي: أولًا: التسريع بإنجاز نصب البيزومترات لمراقبة كفاءة ستارة التحشية من رواق التحشية والتي طالما أكد المجلس على تنفيذها طوال الفترة السابقة وبمسافات فاصلة لا تزيد على (36) مترًا، واعتبرها ليست لتدقيق مدى صحة المعايير التصميمية فحسب، وإنما كذلك أيضًا وسائل للتدقيق في سلامة السد. وتبقى هذه البيزومترات الوسيلة الوحيدة لاكتشاف أي تدفق موضعي للرشح في الأسس من خلال الستارة. ومن الجدير بالذكر فإن الخبير الدكتور كارون الذي استدعاه المقاول الرئيسي (جيمود) لدراسة مشاكل التحشية قد أوصى هو الآخر بنصب البيزومترات هذه بمسافات فاصلة لا تتجاوز (30) مترًا. ثانيًا: اتخاذ كافة ما يلزم لتنفيذ برنامج اضطراري للتدخل السريع وإجراء تحشيات إضافية للستارة إذا ما أظهرت البيزومترات حالات حرجة تستدعي ذلك، ويجب أن يكون هذا البرنامج واضحًا ودقيقًا. ولا يكون هناك أي تردد بتفعيله فور ظهور أي تردي في حالة الستارة، ويمكن أن يكشف مثل هذا التردي عند انخفاض الفرق بين قراءتي أي بيزومترين متقابلين مقدم ومؤخر الستارة. ثالثًا: على الجميع إجراء كل ما يلزم للاستمرار بالمعالجة الروتينية مستقبلًا في كل مرحلة جديدة من مراحل الإملاء الأولي والسيطرة على مياه الرشح بنسبة (100%) والاستمرار بالرصد والمراقبة الدقيقين.	نيسان (1985)	تابع ـ الاجتماع الثامن عشر

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/

التسلسل	التاريخ	التفاصيل
الاجتماع التاسع عشر	حزيران (1985)	قدم المقاول في هذا الاجتماع تقريرًا لتقدم العمل في الستارة العميقة لغاية (5) حزيران (1985) حيث تضمن نسب التنفيذ تحت السد الرئيسي مرفقة مع نتائج التدقيق في بعض المقاطع. وناقش المجلس نسب التنفيذ ومستويات الأمان التي تحققها ومن ثم نوقشت التحسينات الجارية على تقنيات التنفيذ. وظهر من النقاشات وجود مناطق في الأسس ذات نفاذية لا زالت عالية في كافة أعماق سلسلة الصخور الطباشيرية خاصة في طبقة البريشيا الجبشية (GBO) إضافة إلى الأجزاء العليا من تركيب الجريبي. وذكّر المجلس بأنه كان قد قبل بهذه النتائج في الاجتماع السابق بشرط أن يتم رصد بيزومترات المراقبة للتأكد من كفاءة الستارة، خاصة وقد كان الضاغط المائي قليلًا في ذلك الوقت حيث لم يتم غلق نفقي التحويل بعد. شدد المجلس بأن عدد البيزومترات المنفذة لا زال قليلًا، ولا يعطي الصورة الكاملة للرشح المتوقع عند ارتفاع منسوب الخزان. أما في تلك المقاطع القليلة التي أنجزت فيها فقد كانت قراءات البيزومترات تظهر كفاءة جيدة إلى متوسطة للستارة. وهنا طلب المجلس من الاستشاري إعداد خطوط استرشادية تتيح له القبول بالعمل المنجز في الستارة أو رفضه استنادًا إلى التخفيض الذي تحققه الستارة في الضاغط المائي بين المقدم والمؤخر على أن تناقش هذه الخطوط الاسترشادية في الاجتماع القادم. وشدد المجلس بأنه لا يزال هناك المزيد من التحشية الإضافية المطلوبة لحين الوصول إلى أعلى منسوب في الخزان. أما عند مناقشة التحسينات المطلوبة على تقنيات التحشية فقد لاحظ المجلس بأن الطريقة المتبعة في تنفيذ فحوصات النفاذية قد أعطت مردودًا جيدًا حتى في حالة وجود المياه الجوفية الارتوازية. وأظهرت مادة الهلام الفائق (Super Gel) ثباتها عند الاستخدام في التحشية التجريبية وعدم تدهور حالة النفاذية خلال مدة الفحص البالغة سبعة أيام مما يشجع على استخدام هذه المادة مستقبلًا. ولم يتمكن المجلس من الحصول على جواب مقنع عن سبب فشل هذه المادة عند استخدامها في المقطع (86) في الوقت الذي نجحت فيه في مقاطع أخرى، وربما يكون السبب مرتبطًا بالطبيعة الجيولوجية في المقاطع المختلفة، مما جعل المجلس يأمل بالنجاح مستقبلًا باستخدام أنبوب المانشيت لحقن هذه المادة أو حتى تجربة مزيج آخر يستطيع اختراق وملء الفراغات الدقيقة في الصخور. وترك المجلس هذا الموضوع لكي يناقشه الخبير لوكا مع القائمين على العمل مع التوصية القوية بعدم التضحية بموضوع زيادة كفاءة التحشية بسبب الكلفة العالية نتيجة استخدام أنبوب المانشيت. وكان للمجلس توصيات أخرى فيما يخص الفحوصات على مواد التحشية الكيمياوية، وكذلك التأكيد على أهمية تنفيذ كافة البيزومترات المقترحة لإعطاء الصورة الواضحة عن الرشح المحتمل وإمكانية اكتشاف أي رشح قوي ومن ثم التدخل السريع لإجراء المعالجات الإضافية.

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press /سحب ثالث/ سد الموصل

التسلسل	التاريخ	التفاصيل
الاجتماع الاستثنائي المنعقد في لوزان	(26) حزيران (1985)	انعقد هذا الاجتماع في لوزان كما سبق ذكره، وحضر كافة المعنيين بتحشية سد الموصل؛ ومنهم الخبير كارون عن جيمود والخبير لوكا عن مجلس الخبراء. وفيما يلي خلاصة للمذكرة المعدة من قبل السيد لوكا عن الاجتماع: - تعتبر ستارة التحشية المنجزة لغاية عمق 30 متر ذات نوعية مقبولة. - أن الشبابيك التي سبق اكتشافها لا تشكل خطرًا على السد (في الوقت الراهن). - تم التخطيط للقيام بالتحشية الاضطرارية باستخدام (الرغوة Foam) ويمكن التحول إلى التحشية الاعتيادية إذا ما كان هناك صعوبات فنية في استخدام (الرغوة) أو إذا لم يؤدي استعمالها إلى تحسين الحالة. - ضرورة التواجد الدائمي في الموقع لخبير متخصص مع كافة العدد والمواد المطلوبة للتدخل السريع في الحلات الاضطرارية. - يتوجب القيام فورًا بغلق المقاطع التي لم تنجز في امتداد ستارة التحشية في الجانب الأيمن، وكذلك تنفيذ عدد إضافي من بيزومترات المراقبة قرب قدمة السد في المؤخر بالقرب من المحطة الكهرومائية.

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/

التسلسل	التاريخ	التفاصيل
الاجتماع العشرون	تشرين أول (1985)	تم إبلاغ المجلس بأن كافة الفقرات الواقعة على المسار الحرج بالنسبة لرفع منسوب الخزان إما منجزة أو في مراحلها الأخيرة من الإنجاز، وما يتعلق بستارة التحشية فيها، فقد جرى إغلاق العديد من الشبابيك أو النوافذ (Windows). كما أن المرحلة الحقيقية من إملاء الخزان سوف تبدأ في الأول من تشرين الثاني بغلق النفق الأول بعد أن سبق تحوير النفق الثاني إلى منفذ سفلي وتم رفع منسوب الخزان إلى مستوى الفتحة العليا لهذا المنفذ لإطلاق الاحتياجات المائية المطلوبة. أما تفاصيل الإنجاز في ستارة التحشية تحت السد الرئيسي فقد اقترب العمل فيها على الاكتمال بحسب المعايير التصميمية المخففة للنفاذية التي اتفق عليها في الاجتماع السابق، وكان هذا الاتفاق ينص على تحقيق المعايير الأصلية في الجزء العلوي من الستارة والسماح بنفاذيات أعلى في الأجزاء العميقة بصورة مؤقتة، وكان هناك ولا يزال عدد من الشبابيك في الجزء العلوي من الستارة في المقاطع (79) لغاية (114) ومن المؤمل غلقها قريبًا خاصة وأن استخدام التحشية بواسطة الهلام الفائق (Super Gel) أثبت فعالية في التجارب التي أجريت في المقطعين (86، 87)، ويعتقد الجميع بأن هذا الأسلوب سوف ينجح بتحقيق المعايير الأصلية في سلسلة الصخور الطباشيرية بما فيها من البريشيا الجبسية في العمق خلال الفترة اللاحقة. واعتبر المجلس هذا الموضوع غير حرج الآن خاصة وأن النفاذيات الحالية في المقاطع (88 ـ 110) كافة هي بحدود 10 لوجون أو أكثر بقليل. أما ستارة الجانب الأيسر فقد أنجزت عدا أربعة شبابيك في طبقة الصخور الكلسية. وأخيرًا فإن تحشية امتداد ستارة التحشية في الجانب الأيمن (F-Bed) فقد كانت بعيدة كل البعد عن الإنجاز رغم أن قنوات التدفق الكبير فيها لغاية طبقة البوكسايت قد تم غلقها الآن. وحث المجلس الاستشاري على ضرورة قيامه بإعداد تعليمات مفصلة لكل من المناطق التي لم تنجز فيها التحشية بموجب المعايير الأصلية والأخذ بنظر الاعتبار البرنامج الزمني الذي سبق إعداده مشتركًا مع هيئة الإشراف على التنفيذ لهذا الغرض وأعرب عن رضاءه عن ما تم تهيئته من عدد ومواد وقدرة بشرية من أجل التدخل السريع في الحالات الاضطرارية. وبيّن المجلس في موضوع مراقبة كفاءة ستارة التحشية خلال الملْء الأولي بواسطة البيزومترات المنصوبة في رواق التحشية بأن العدد المنجز من أزواج البيزومترات يتيح سير المراقبة بصورة مرضية ويمكّن من قراءة البيزومترات مقدّم الستارة مع البيزومترات في مؤخرها في أي مقطع لمعرفة الكفاءة التي تحققها الستارة في ذلك المقطع. وأبدى المجلس رضاءه عن الرصودات المتحققة في العدد القليل من البيزومترات المنتخبة التي توفرت لدى الاستشاري. كما وأعرب المجلس عن إمكانية تغير الصورة إذا رصدت كافة البيزومترات لفترة طويلة خاصة عند ازدياد الضاغط المائي بفعل ارتفاع مناسيب الخزان. (يتبع)

Z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Tuesday 20th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/

التفاصيل	التاريخ	التسلسل
أكد المجلس أيضًا على قيام الاستشاري بالتسريع في إصدار الخطوط الاسترشادية للتدخل السريع في حال ظهور تدهور مفاجئ بقراءات أي زوج من البيزومترات وأن تكون هذه التعليمات مرتبطة ارتباطًا وثيقًا بعمق ذلك الجزء من الستارة الذي لوحظ فيه هذا التدهور، وكذلك الحالة الجيولوجية السائدة في ذلك العمق. لوحظ من قراءات البيزومترات المتوفرة داخل رواق التحشية بأن منسوب الماء في البيزومترات مؤخر الستارة يتأثر مباشرة بمناسيب البحيرة التنظيمية بالارتفاع والانخفاض، أما البيزومترات في مقدم الستارة فإن منسوب الماء فيها يتأخر في رد فعله على تغير المنسوب في الخزان. كما لوحظ أيضًا أن بعض البيزومترات مؤخر السد في الجانب الأيسر قد أشّرت تصرفًا غريبًا، حيث إن مناسيب المياه فيها لا تنخفض بانخفاض منسوب البحيرة التنظيمية. إن هذا الأمر بحسب المجلس قد يكون مرتبط بالحالة الجيولوجية للطبقات الصخرية وميلها نحو مجرى النهر إلا أنه طلب أن يدرس الموضوع وتوضح الأسباب من قبل الاستشاري. وغني عن القول فقد أعاد المجلس التأكيد على توصيته التي سبق أن كررها عدة مرات بنصب المزيد من البيزومترات في رواق التحشية.	تشرين أول (1985)	تابع ـ الاجتماع العشرون

التفاصيل	التاريخ	التسلسل
درس المجلس ظاهرة الرشح المتطور في الجانب الأيسر؛ فلقد كانت كمية الرشح لا تتجاوز (200 لتر/ثانية) في موعد الاجتماع السابق بينما وصل الآن عندما وصل منسوب الخزن إلى ما يزيد قليلًا عن (306) ما مقداره (830 لتر/ثانية). لذا أوصى المجلس بتنفيذ أعمال معالجة إضافية جديدة كما سيرد ذكره لاحقًا. ودقق المجلس تقدم العمل في ستارة التحشية، واستلم من هيئة الإشراف على التنفيذ المعلومات بشكل مرتسمات للمقاطع مؤشر عليها كافة المعلومات اللازمة، وأدرجت أيضًا على نفس المرتسمات قراءات أزواج البيزومترات مقدم ومؤخر الستارة في كل مقطع مبينة كفاءة الستارة هناك. راجع المجلس بعد ذلك تقرير الخبير المتخصص لوكا عن زيارته الأخيرة وما توصل إليه من توصيات، ووافق على التوصيات التي وردت فيه كافة. كما رأى المجلس بأن ستارة التحشية تعتبر منجزة تقريبًا عدا بعض الشبابيك (Windows) التي لا تزال تحت المعالجة في المقاطع (102 ـ 104) وكذلك بالقرب من مقطع (58) فوق منسوب رواق التحشية، ويبدو بأن التحشية بواسطة هلام السليكا (Silica Gel) قد أثمرت في جميع المقاطع التي استعملت فيها. ولم تتحقق المعايير التصميمية المطلوبة في الستارة في مناطق أنفاق الطاقة، والسبب في ذلك حسب رأي المجلس عدم استعمال ضغوط عالية للتحشية هناك، وقد بين أيضًا عدم وجود ما يخشى منه في حالة استعمال أية ضغوط عالية بجوار البطانة الخرسانية لهذه الأنفاق خاصة إذا ما استعمل مزيج ثقيل ومستقر. كما أولى المجلس اهتمامًا بالغًا لموضوع مراقبة ستارة التحشية واستنتج من قراءات البيزومترات بأن حالتها كانت مرضية حيث تحقق فقدان كبير بالضاغط المائي من خلالها عدا بعض الاستثناءات. ومن هذه الاستثناءات قراءات عدد من البيزومترات منها الزوج (34A,34B) والبيزومترات المنفردة (41A) و(42B) إضافة إلى عدد آخر من بيزومترات الجانب الأيسر هي (AG48B) و(AG51A) و(AG52A) و(AG55A) و(AG56A). لذا أوصى المجلس القيام بدراسة أسباب هذا الشذوذ وضرورة نصب بيزومترات جديدة في هذا الجانب للمزيد من مراقبة الرشح المتطور هناك وبالأخص شرق المقطعين (53) و(64). وأيد المجلس التجارب التي جرت بتوصية من الخبير لوكا لاستخدام مزيج سريع التصلب في حالات التدخل السريع لإيقاف تطور أي رشح مثل مزيج زيت الديزل مع السمنت والبنتونايت ومزيج هلام السليكا (Silica Gel). بصورة عامة رأى المجلس أيضًا بأن سلوك ستارة التحشية في الجانب الأيمن يبدو مرضيًا من قراءات البيزومترات في المؤخر إلا أنه لا يزال هناك زيادة مقررة بمنسوب الخزن هذه السنة مما يتطلب الاستمرار بالمراقبة. (يتبع)	آذار (1986)	الاجتماع الحادي والعشرون

التفاصيل	التاريخ	التسلسل
تطرق المجلس بعد ذلك إلى موضوع الرشح في الجانب الأيسر فناقش تقريرًا جيولوجيًا مفصّلًا أعدته هيئة الإشراف على التنفيذ، حيث تبين وجود أربع طبقات من الخصور الكلسية المتشققة بدرجة كبيرة يبلغ سمكها الكلي (10) أمتار متداخلة مع طبقة (F-Bed) وتتوسط اثنتان منها بين هذه الطبقة وطبقة (GB3) وتستمر جميعها باتجاه من شمال الغرب إلى جنوب الشرق، وقد تطورت فيها تكهفات كبيرة جدًا مما جعلها ذات نفاذية عالية للغاية، هذا بالإضافة إلى تصدعها عموديًا بسبب الحركات التكتونية مما جعل هذه الطبقات تشكل بؤرًا مائية كبيرة تتغذى بسهولة بالمياه من الخزان لتمررها بعد ذلك نحو المؤخر. وقد وجد المجلس بأن تصميم الستارة هنا خاصة في المقاطع من (49) لغاية (16) غير كافٍ، حيث تتكون ستارة التحشية من صف واحد من ثقوب التحشية وأن العمق يعتبر غير كافٍ أيضًا، لذا فلا عجب من عدم تحقق المعايير التصميمية المطلوبة التي تنص على وصول (90%) من المراحل نفاذية تقل عن (10) لوجون، وأما (10%) الباقية من المراحل فيجب أن تقل نفاذيتها عن (50) لوجون في كافة الثقوب التدقيقة. مما تقدم فقد أوصى المجلس بالإضافة إلى ما تقدم بما يلي: أ - إعادة تدقيق قيم النفاذية لطبقة (F-Bed). ب - حفر ثقوب استكشافية للتحريات العميقة لغاية الوصول إلى طبقة (GB2) لتحرِّي وضعية الطبقات الكلسية كافة التي تقع بين طبقة (GB2) وطبقة (GB3) الواقعة فوقها. ج - إضافة صفٌ ثانٍ من ثقوب التحشية إلى الستارة من المقطع (54) في أيمن المسيل لغاية المقطع (16) شرقًا. د - إجراء معالجات خاصة في المقطعين (27) و(28) بسبب تشوه الطبقات الجيولوجية فيهما. هـ - حفر ثقوب استكشافية عميقة في المقاطع من (56) لغاية (63) يمين منشأ المسيل وحتى السد الرئيسي في مقطع النهر، والنظر في إمكانية القيام بتحشية إضافية هناك. و - نصب أعداد جديدة من البيزومترات في مقدم ومؤخر الستارة اعتبارًا من المقطع (16) لغاية المقطع (64). ز - إجراء تجارب بواسطة الكواشف اللونية (Color Tracers) للمساعدة في فهم حالة الجريان وتقييم آثار التحشيات الإضافية المقترحة. ح - تجميع عيون الرشح في هذا الجانب من أجل إجراء قياسات التصاريف في نقاط مجمعة وتغطية البقع الرطبة بالمرشحات. ط - إجراء تجارب على خلطات جديدة من مزيج التحشية ذات التصلب السريع لملءِ الفجوات وإيقاف التدفقات العالية من المياه. ي - الاستمرار بالدراسات الهيدروجيولوجية للمنطقة ومعرفة تأثير معالجات التحشية الإضافية على الحالة العامة للرشح.	آذار (1986)	تابع - الاجتماع الحادي والعشرون

التفاصيل	التاريخ	التسلسل
لم تتوفر لدينا تقارير هذه الاجتماعات والتي تغطي الفترة من نيسان (1986) لغاية آب (1987)، وأمكن معالجة جزء من هذا النقص بالرجوع إلى تقرير تقدم العمل لهيئة الإشراف على التنفيذ الذي يغطي الفترة من (29) نيسان (1987) لغاية (14) أيلول (1987). يمكن الملاحظة من هذا التقرير استمرار الجهود المكثفة في محاولة الوصول إلى المعايير التصميمية في المقاطع الفاشلة من المقطع (75) لغاية المقطع (92) مما حتم إعادة النظر بطريقة التنفيذ وإصدار تعليمات جديدة للموقع. وتضمنت التعليمات إضافة صف جديد من صفوف ثقوب التحشية بين الصف الوسطي والصف الخلفي من صفوف تحشية الستارة وأن لا تتجاوز المسافات الفاصلة بين الثقوب في هذا الصف مقدار (1,5) مترًا كما يجب أن تستمر الثقوب بعمق يزيد (20) مترًا عن عمق الستارة الأصلية، وذلك في محاولة للوصول إلى المعايير المطلوبة في جزئها السفلي. وتضمنت التعليمات تفاصيل عديدة عن أنواع مزيج التحشية الواجب استعمالها واشتراطات ذلك من ضغوط عالية وأسلوب الحقن المستخدم، ولم تغفل عن ضرورة إضافة الحصى المتدرج (3 ـ 8) مليميتر لملء الفجوات التي تصادفها. ولم يخفي الاستشاري قلقه البالغ من التطورات السيئة في الستارة فأصدر تعليمات جديدة إلى هيئة التنفيذ طي رسالته في (8) آب (1986). ونقرأ في هذه الرسالة ما يخص المقطع (79) ما يلي: «هناك احتمال كبير بأن الذوبان المستمر في هذا المقطع يجري بسرعة كبيرة لم تستطع عملية التحشية من مجاراتها، مما يتطلب القيام بتحشية سريعة وموسعة (Enlarged Grouting) بإيصال مزيج التحشية إلى الرواق من خلال ثقب يحفر من قمة السد إلى رواق التحشية مباشرة»، وإجراء هذه المعالجة في كافة المقاطع من المقطع (75) لغاية المقطع (92) مع إعطاء الأولوية للمقطع (79). وطلبت الرسالة أيضًا تعميق الستارة بصورة إضافية من (20) مترًا إلى (35) مترًا تحت منسوب عمقها السابق إذا ما تجاوز الاستهلاك في المرحلتين الأخيرتين (100) كغم/ متر. وفي رسالة ثانية من الاستشاري إلى هيئة الإشراف وضع الاستشاري اشتراطات معينة لتشغيل الخزان في ضوء أعمال معالجات الستارة وهي: تخفيض منسوب الخزان إلى منسوب (300) كما هو مقرر سابقًا عند التشغيل في أيلول/ تشرين أول من كل سنة والاستمرار على هذا المنسوب المنخفض إلى نهاية كانون الثاني (1988)، وحسب الظروف الهيدرولوجية لتسهيل معالجات التحشية، ثم السماح برفع المنسوب إلى منسوب (320) تقريبًا في شباط بشرط تحقق الشرطين التاليين: أ ـ أن تتم السيطرة على منطقة المشكلة في المقاطع (79، 81، 83) والوصول بكفاءة الستارة إلى المستوى المقبول. ب ـ أن تكون التحشية الإضافية بثقوب بمسافات (1,5) مترًا قد أنجزت في المقاطع (75 لغاية 83)، وأن تكون مستمرة حثيثًا في المقاطع من (84 لغاية 93).	الفترة من نيسان (1986) لغاية آب (1987)	الاجتماع الثاني والعشرون الاجتماع الثالث والعشرون الاجتماع الرابع والعشرون

التفاصيل	التاريخ	التسلسل
حضر الاجتماع ممثلون عن المقاول الرئيسي والمقاول الثانوي لأعمال التحشية وممثلين عن الشركة البريطانية بِني ومشاركوه، الذين أعدوا دراسة موسعة عن ذوبان الجبسم وعن أسباب عدم نجاح التحشية وسبل المعالجة، كما حضر الخبير المتخصص الدكتور كارون المتعاقد مع المقاول الرئيسي وكذلك الخبير السيد لوند عضو المجلس العالمي للسد. تدارس المجتمعون ما قدمه ممثلو المقاول الثانوي من معلومات عن نتائج أعمال تحشية الستارة العميقة في منطقة (المشكلة) مع استهلاكاتها الكبيرة من المزيج، وكفاءات الستارة المتدنية المستخلصة من قراءات البيزومترات. كما قدم ممثلو شركة بِني ومشاركوه مسودة الدراسة المنوَّه عنها أعلاه. وتمخض الاجتماع عن ثلاث أمور رئيسية هي: أ ـ إن تدهور حالة ستارة التحشية ناتج بسبب استمرار ذوبان الجبسم. ب ـ إن حقن أنواع مزيج التحشية الاعتيادية لن يحل المشكلة بسبب سرعة جريان مياه الرشح خلال المسارات التي يتطلب غلقها. ج ـ لا ينصح بإملاء الفراغات والتكهفات بالحصى حيث إن ذلك لا يجعل المنطقة المحقونة أقل نفاذية، وبالتالي يستمر الجريان كما يستمر الذوبان. بهذا فقد تم التوصل بإجماع الحاضرين على: أ ـ التوقف عن إملاء التكهفات بالحصى. ب ـ استخدام أنواع خاصة من المزيج ذات التصلب السريع (البوليمرات) عندما يكون الاستهلاك عالٍ جدًا نتيجة لسرعة جريان مياه الرشح. ج ـ ضرورة القيام بإجراء فحوصات على مادة السنترين (Syntrane) فورًا من أجل تجربتها في أحد مقاطع منطقة (المشكلة). د ـ إجراء تجربة على استعمال مزيج (BDC) (بنتونايت + زيت الديزل + السمنت). هـ ـ استخدام المسافات الفاصلة بين الثقوب بمقدار (1,5) متر بصورة روتينية وعدم الاقتصاد في المناطق ذات الاستهلاك القليل. وـ القيام بحفر وتحشية مرحلة إضافية في مناطق التماس بين الطبقات الطباشيرية وطبقات الجبسم التي تتخللها. ز ـ قد يتطلب تعميق ثقوب صفوف التحشية كافة في الستارة، وليس فقط الصف الوسطي من ثقوب التحشية. أرسل المجلس رسالة (تلكس) مباشرة بعد الاجتماع إلى إدارة المشروع يطلب فيها تخويل المقاول تجربة أنواع المزيج المذكورة أعلاه بالنظر للنتائج البائسة المتحققة لغاية ذلك التاريخ في ستارة التحشية في منطقة (المشكلة)	(24) آب (1987)	الاجتماع الخامس والعشرون (منعقد في باريس)

التفاصيل	التاريخ	التسلسل
ذكّر المجلس في هذا الاجتماع بما سبق أن تم إقراره من توصيات خلال الاجتماع المرحلي في باريس المنعقد يوم (24) آب المنصرم، وثمن عاليًا الدراسة المقدمة في ذلك الاجتماع من شركة بِني البريطانية التي تمحورت حول الذوبان وعلاقته بمشاكل ستارة التحشية. وفي هذا الاجتماع قدم المقاولون رسميًا بيانيين يوضحان نتائج الأعمال المنفذة وفق تعليمات هيئة الإشراف على التنفيذ (التي سبق ذكرها) ومنها الركون إلى إضافة الحصى المتدرج في الصف الخلفي من صفوف التحشية حيث كانت النتائج إيجابية عدا الفشل في مقطع واحد من مقاطع منطقة (المشكلة)، وقد اعترض المقاولون على توصية المجلس في اجتماع باريس الخاصة بتجربة مادة السينترين (Syntrane) ومزيج (البنتونايت + زيت الديزل + السمنت BDC) وطلبوا الاستمرار بالأسلوب الناجح الحالي. لذا أوصى المجلس الاستمرار بالأسلوب نفسه وعدم إهمال الأسلوب البديل باستعمال السنترين (Syntrane) لاستعماله في حالات فشل قد تعترض الأسلوب الحالي. كما اقترح ممثلو المقاول أيضًا أن يتم إعادة النظر بالمعايير التصميمية للستارة العميقة تحت السد الرئيسي وأن ترتبط إدارة خطة إملاء الخزان بالنتائج المتحققة في ستارة التحشية مع ضرورة التواجد الدائم لممثل عن الاستشاري بكامل الصلاحيات في الموقع لاتخاذ القرارات الفورية. واعترف الجميع بأنه على الرغم من أن مناطق الضعف في الستارة أصبحت معروفة إلا أن هناك احتمال وجود العديد من المناطق التي لم تكتشف إلى الآن. وأخيرًا فقد بيّن ممثلو المقاول بأن فريق صيانة التحشية الخاص برب العمل قد تم تدريبه وإعداده بصورة جيدة الآن وبإمكانه القيام بتحشية الصيانة مستقبلًا. ناقش المجلس موضوع الرشح في ضوء اكتمال أعمال التحشية الإضافية في الجانب الأيسر التي أوصى بها بمضاعفة عدد الصفوف في الستارة تحت السد الثانوي وتعميقها إضافة إلى تقدم العمل في تنفيذ الستارة العميقة الممتدة بموازاة منشأ تصريف المسيل الرئيسي. وبعد مرور دورة مائية كاملة في إملاء الخزان لاحظ المجلس انخفاضًا عامًا بمعدلات الرشح في هذا الجانب بمقدار (50%) من الرشح الكلي. وكان المنسوب قد تغير في تلك الفترة من (309) في آب (1986) إلى (303) في كانون أول (1986) ثم ارتفع إلى (310,3) في نهاية أيار (1987)، وأخيرًا (309) في آب (1987)، كما انخفض الرشح من (180) لتر/ثا إلى (42) لتر/ثا بجوار منشأ مذب المسيل الرئيسي. ولم يغب عن المجلس ذكر الترابط الوثيق الملحوظ بين كميات الرشح والارتفاع والانخفاض بمناسيب الخزان وتوقع أن تزداد هذه الكميات بحدود (40%) عند وصول المنسوب إلى منسوب التشغيل الأعلى البالغ (330) مما يعني ازدياد حالة ذوبان الجبسم إلى حد كبير. ولاحظ المجلس بأن قياسات الرشح في منطقة السد الوقتي رقم (6) أظهرت رد فعل مماثل لذلك الذي حصل في الجانب الأيسر ولكن بدرجة أقل. (يتبع)	أيلول (1987)	الاجتماع السادس والعشرون

التسلسل	التاريخ	التفاصيل
تابع ـ الاجتماع السادس والعشرون	أيلول (1987)	لقد كانت زيادة الرشح خلال سنة كاملة من معدل (187) لتر/ثا إلى (220) لتر/ثا مع انخفاض بكميات الأملاح المذابة من تركيز 2330 ملغم/لتر في بداية أيار (1986) إلى (1260) ملغم/لتر في نهاية كانون الثاني (1986)، وكذلك زيادة ملحوظة إلى (2230) ملغم/لتر في موسم فيضان أيار (1987). وبتحليل كامل الصورة خلال (12) شهرًا الأخيرة فإن هناك انخفاضًا بمعدلات الذوبان من أسس السد؛ فكانت في (1986) حوالي (20 ـ 30) طن يوميًا بينما بلغت في (1987) حوالي (10 ـ 15) طن يوميًا، علمًا أن معدلات الذوبان العليا التي وصلتها في فيضانَيْ (1986) و(1987) بلغت (40) طن يوميًا و(33,5) طن يوميًا على التوالي، وقد رأى المجلس في هذا مؤشرًا على التحسن في كفاءة ستارة التحشية. أعرب المجلس أيضًا عن أسفه لتوقف قياسات تصاريف الرشح منذ حزيران (1987) في مقدم السد الوقتي رقم (6) بسبب تشغيل محطتي التوليد في السد الرئيسي والسد التنظيمي والتذبذب اليومي الحاصل في منسوب المياه مؤخر السد الرئيسي، وإن هذا الأمر يعقد احتساب كميات الرشح الصافي المتأتي من تحت السد الرئيسي لعدم إمكانية التوصل إلى كميات الرشح من خلال جسم السد الوقتي من أجل طرحها من الرشح الكلي. وقد طلب المجلس اتخاذ اجراءات محددة (لا مجال لذكرها هنا) من أجل مواصلة هذه القياسات. كما أعطى المجلس موضوع صيانة ستارة التحشية وقتًا إضافيًا للنقاش وبين بأن الانخفاض في تصاريف الرشح لا يمكن أن يؤخذ كمؤشر على تحسن كفاءة التحشية، حيث قد يكون أحد أسباب هذا الانخفاض تأثير الرسوبيات في داخل الخزان خلال الفترة المنصرمة، خاصة وأن القراءات البيزوميترية لا تزال تؤشر إلى تدهور تدريجي في كفاءة الستارة وعدم تخفيضها الضاغط المائي بالدرجة الكافية في بعض مقاطع منطقة (المشكلة). وقد أضاف المجلس في تقريره بأن ما توفر لدى العاملين من تجارب وملاحظات يمكن أن تعطيهم أسسًا جيدة لتطوير برنامج مستقبلي (لصيانة الستارة) مبني على تفسير القراءات البيزوميترية، وهو برنامج يستند على ما سماه المجلس: برنامج المراقبة ثم الصيانة (Monitoring-Cum-Maintenance) لغرض نقل برنامج التحشية الحالي إلى مرحلة التشغيل الدائم للخزان. وهذا الأمر يفرض إعادة تأهيل وإصلاح كافة البيزومترات العاطلة للكشف عن كل حالات التدهور في الستارة مستقبلًا. كما طلب المجلس في حقل التوصيات حفر ثقوب استكشافية بمسافات فاصلة قدرها (3) أمتار على طول محور الستارة وأخذ اللباب الصخري منها لمعرفة تأثير التحشية فيها ومن ثم تبطينها بأنابيب بلاستيكية من أجل نصب أجهزة لقياس سرعة الصوت وتغيرها بحسب التغيرات في حالة الأسس (Sonic Velocity Measurement). وهذا يساعد في الكشف عن تطورات كفاءة الستارة.

التفاصيل	التاريخ	التسلسل
انعقد الاجتماع من (23) شباط إلى (26) شباط (1988) وراجع المجلس التقدم في أعمال تحشية الستارة تحت السد الرئيسي حيث تحقق منذ الاجتماع السابق في أيلول (1987) نتائج بارزة في زيادة كفاءة الستارة كما توضح ذلك من تقرير تقدم العمل المقدم من هيئة الإشراف على التنفيذ في شباط (1988). وأعاد المجلس إلى الأذهان في تقريره لهذا الاجتماع مسيرة التحشية الأخيرة ولخصها كما يلي: «بوشر منذ نهاية (1986) بجملة من تجارب التحشية بالسمنت (Cement Groutability Tests) بقصد غلق النوافذ التي ظهرت في الستارة لزيادة كفاءتها، كما أجريت تجارب على التحشية بالسنترين (Syntrane) وهلام السليكا (Silica Gel) و(BDC) وهو مزيج (البنتونايت + زيت الديزل + السمنت) وكان هناك احتمال لنجاح النوعين الأولين غير أنه قد تم إهمالهما قبل تحقيق نتائج تذكر بينما أهمل المزيج الثالث خوفًا من تلوث المياه، أما الطريقة الناجحة فقد كانت استخدام طريقة التحشية الواسعة (Massive Grouting) وهي عملية ضخ كميات كبيرة من مزيج (SS) المتكون من (السمنت والرمل والبنتونايت) بواقع (2 وزن من الرمل + وزن واحد من السمنت + 4% بنتونايت) وتحقيق معدلات عالية من ضخ مزيج التحشية. وقد أوجب الأمر تجهيز المزيج من خلال أنابيب خدمة حديدية من قمة السد تصل رواق التحشية في الأسفل مخترقة اللب الطيني». لقد حقق هذا الأسلوب غلق المسارات وتدفقات المياه مما أدى إلى ارتفاع الفرق في المناسيب المتحققة في البيزومترات مقدم الستارة ومؤخرها اعتبارًا من تشرين الثاني (1987) ولغاية هذا التاريخ، ووصلت كفاءة الستارة مستويات مقبولة كانت قد تحققت في (1985). واعتبر المجلس هذا النجاح فقط كمؤشر حيث إن الهدف هو السيطرة بصورة كاملة على كميات الرشح وبالتالي تقليل الذوبان، ولا يمكن التعرف على الصورة الكاملة ما لم تستأنف قياسات تصاريف مياه الرشح في مقدم السد الوقتي رقم (6) واستئناف التحاليل الكيمياوية لنماذج المياه. ويعتقد المجلس باستمرار الذوبان هناك وأن العديد من أطنان الأملاح لا تزال تذوب وتغسل يوميًا. وبين المجلس بأنه قد تم الآن تشخيص الطبقات الجبسية في الأسس المرشحة للذوبان بصورة دقيقة لذا لا بد من نصب بيزومترات إضافية تصل هذه الطبقات بالذات لتشخيص أي ذوبان موضعي فيها قبل تطوره. ومن ملاحظات المجلس الأخرى على تقرير هيئة الإشراف على التنفيذ هي أن مناسيب المياه في البيزومترات مؤخر الستارة في المقاطع من (66) إلى (70) حيث تتواجد طبقتي البريشيا الجبسية (GB1) و(GB2) لا تزال مرتفعة مما يتطلب استخدام مزيج هلام السليكا (Silica Gel) للسيطرة على الرشح هناك قبل المباشرة بعملية رفع منسوب الخزان. أما في ستارة تحشية الجانب الأيسر فعند مقارنة ما كان عليه الحال أواسط (1986) يلاحظ بأن تصاريف الرشح انخفضت إلى ثلث ما كانت عليه آنذاك. أما الرشح المتبقي فإنه قد يسبب ذوبان الجبسم تحت قناة تصريف المسيل ومنشأ المذب، لذا طلب المجلس ضرورة تقوية الستارة في الجانب الأيسر وتعميقها وإنجاز ستارة التحشية العميقة بمحاذاة الجانب الأيسر من قناة تصريف المسيل. (يتبع)	شباط (1988)	الاجتماع السابع والعشرون

التفاصيل	التاريخ	التسلسل
أكد المجلس أيضًا ما سبق أن أوصى به في اجتماع أيلول الماضي على ضرورة التمرس باستخدام تقنيات التحشية من قبل فريق عمل الصيانة التابع لرب العمل. وبين ممثلي المقاول في الاجتماع بأنه قد تم حتى تاريخه تدريب (42) من فنيي الحفر والحقن وقد وصلوا درجة عالية من المهارة ويقومون بتشغيل طاقمين للحفر والحقن منذ بداية كانون الثاني (1988). وأعرب ممثلو المقاول عن استعدادهم لتدريب مراقبي العمل والمشرفين وكادر الإدارة المتوسطة أيضًا. كما قدموا قائمة طويلة من المعدات والعدد والأدوات وحتى الأدوات والمواد المختبرية وذلك من أجل تقديمها بشكل هبة مجانية لرب العمل تحت شروط خاصة، وبهذا تستطيع إدارة المشروع القيام بتنفيذ برنامج كامل ومؤثر لأعمال تحشية الصيانة. بعد ذلك راجع المجلس التفاصيل المقدمة من قبل المقاول وهي: أ ـ تفاصيل الخبرة المكتسبة من تحشية المقاطع (79 ـ 93) و(66 ـ 70). ب ـ تحديد حجم العمل المتبقي المطلوب. ج ـ وصف كامل للبرنامج التدريبي لفريق صيانة رب العمل. د ـ قوائم تفصيلية بالعدد والمواد والأدوات التي سوف تقدم من المقاول إلى رب العمل. أخيرًا بيَّن ممثلو المقاول بأنهم قد أوفوا بكافة التزاماتهم التعاقدية ويتوقع من رب العمل أن يصدر لهم شهادة إنجاز العمل النهائية بموجب شروط العقد. ناقش المجلس بعد ذلك برنامج إملاء الخزان خلال الفيضان القادم واستعرض الحالة كما يلي: «سبق أن ارتفع منسوب الخزن فوق منسوب (300) نهاية (1985)، وأعقب ذلك مباشرة ظهور الرشح في الجانب الأيسر من منطقة المسيل الثانوي بتصاريف عالية، وقد استدعى الأمر تنفيذ برنامج اضطراري لتقوية الستارة في الجانب الأيسر وتعميقها وأعطى ذلك نتائج مقبولة غير أنها بطيئة. لذا تم نقل معدات الحفر والحقن إلى رواق التحشية لمعالجة النوافذ المتوقعة في ستارة التحشية في مقطع النهر، غير أن التدفقات السريعة للجريان هناك قللت كثيرًا من فعالية أساليب التحشية التي تمت تجربتها كافة وأفشلت كل المحاولات لغلق النوافذ بصورة دائمية. واستمرت التجارب واستمر الفشل لغاية أيلول (1987) عندما تم تبني موضوع التحشية الواسعة (Massive Grouting) وذلك بإيصال مزيج التحشية بصورة سريعة وفعالة إلى رواق التحشية باستخدام أنابيب الخدمة التي اخترقت اللب الأصم من قمة السد لغاية رواق التحشية، كما تم استخدام مزيج ثقيل من السمنت والرمل والبنتونايت. عندئذٍ فقط أمكن السيطرة على الموقف وحصل التحسن في قراءات البيزومترات في مقاطع منطقة (المشكلة)». (يتبع)	شباط (1988)	تابع ـ الاجتماع السابع والعشرون

التسلسل	التاريخ	التفاصيل
تابع ـ الاجتماع السابع والعشرون	شباط (1988)	وعليه طلب المجلس مزيدًا من الإجراءات التي إذا ما تحققت يمكن السير برفع منسوب الخزان إلى منسوب (325) في هذه السنة (1988) حسب ما اقترحه الاستشاري وكما ما يلي: أ ـ التأكد من حقيقة الوضعية في المقاطع (66 ـ 70) بواسطة تحريات إضافية وإجراء معالجة إضافية إذا تطلب الأمر. ب ـ رصد البيزومترات بفترات زمنية قصيرة جدًا وتحليلها من قبل مهندس مسؤول في الموقع. ج ـ أن يتكامل فريق صيانة الستارة ويصل إلى الدرجة القصوى من التأهيل للتدخل في حالات الطوارئ. أما موضوع إصدار شهادة إكمال العمل إلى المقاول (Completion Certificate) فقد بيَّن المجلس بأن رب العمل لم يطلب منه تقديم الرأي حول هذا الموضوع كما أنه في الوقت نفسه لا يمتلك الوثائق التعاقدية لإبداء الرأي القانوني، لكنه وباعتباره شاهدًا على عمليات التنفيذ فإن بإمكانه أن يبين بأن المقاول قد قام بتنفيذ العمل بدرجة عالية من الدقة والالتزام بالمواصفات الفنية وأنه (أي المقاول) قد تجاوز في العديد من الفقرات المواصفات المطلوبة في العقد نحو الأفضل. لذا يعتقد بأن طلب إصدار هذه الشهادة يعتبر في محله الآن. وأخيرًا حذر المجلس القائمين على الصيانة بعدم الاسترسال في التفاؤل حيث إن حالة الستارة قد تتدهور بمرور الوقت وتنخفض كفاءتها تدريجيًا مما يحتم تكرار الصيانة في المستقبل. أما ما يتعلق ببرنامج الخزن فيوصي المجلس بالالتزام بالشروط التي سبق عرضها من أجل رفع المنسوب إلى مستوى (325) فقط.

التسلسل	التاريخ	التفاصيل
الاجتماع الثامن والعشرون (اجتماعين مرحليين متتاليين في موقع السد)	الاجتماع الأول في آذار ـ نيسان، والاجتماع الثاني في نيسان ـ أيار (1988)	انعقد الاجتماعان المذكوران خلال شهري آذار وأيار وامتدت المناقشات في الاجتماع الأول من (31) آذار ولمدة يومين في نيسان. أما الاجتماع الثاني فقد انعقد في (29) نيسان وامتد ثلاثة أيام في أيار ومثل المجلس رئيسه فقط. وكان الهدف من الاجتماعين تواجد من يمثل المجلس خلال هذه الفترة الحرجة من عمر الخزان حيث يتوقع إملاء الخزان إلى المنسوب التشغيلي الأعلى، وبالتالي تجربته للمرة الأولى مع كل ما هنالك من مشاكل في الأسس وما يقتضي الأمر من برامج دقيقة، وحذره لغرض الإملاء وتسليك الفيضان المتوقع. وجه المجلس بتخفيض الخزان من مستواه الحالي إلى منسوب (320) خلال الفترة من (1) نيسان لغاية (15) منه وإطلاق كافة المياه الواردة في هذه الفترة والإبقاء على هذا المنسوب ثابتًا من (16) نيسان لغاية (30) منه، والقيام خلال الفترة بالرصد المكثف للبيزومترات وإجراء معالجات التحشية المكثفة على الستارة. يلي ذلك السماح بارتفاع المنسوب بصورة بطيئة لغاية منسوب (322,5) خلال الفترة من (1) من أيار لغاية (15) منه واستمرار رصد البيزومترات ومعالجات التحشية المكثفين، وأخيرًا رفع المنسوب لغاية (325) خلال الفترة من (15) أيار لغاية (31) منه والإبقاء على هذا المنسوب وعدم رفعه واستمرار أعمال رصد البيزومترات وتكثيف أعمال تحشية الستارة. لقد أثبتت الرصودات الهيدرولوجية اللاحقة تعرض السد إلى موجتين فيضانيتين متتاليين من الفيضانات العالية القياسية سجلت في محطة فيشخابور وقد قدرت الأولى بتحفظ شديد بسبب تجاوز المنسوب لأعلى تدرج المقياس في المحطة المذكورة بمقدار (9100) متر مكعب/ثا بينما أشر منحنى (السعة ـ المنسوب (Stage-Volume) للخزان ما بمقداره (12000) متر مكعب/ثا، أما الموجة الثانية فقد تجاوزت (7100) متر مكعب/ثا. وقد تجاوز المنسوب المتحقق أثناء ذلك منسوب (330) ليعود بعدها تدريجيًا إلى منسوب (327). وجد المجلس وبعد التدقيق بأن كافة أجزاء السد قد عملت بصورة صحيحة على الرغم من تجاوز منسوب الخزان المنسوب التشغيلي الأعلى البالغ (330) وكذلك المنسوب الأعلى المخطط له هذه السنة البالغ (325). لقد حقق السد في هذا الموسم أحد أهم أهدافه الأساسية وهو حماية حوض دجلة من أحد أكبر الفيضانات في تاريخ العراق الحديث بصورة جيدة وبلغ أقصى تصريف أطلق إلى النهر (5300) متر مكعب/ثا في يوم (20) نيسان (1988). (يتبع)

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press /سحب ثالث/ سد الموصل/

التسلسل	التاريخ	التفاصيل
تابع ـ الاجتماع الثامن والعشرون (اجتماعين مرحليين متتاليين في موقع السد)	الاجتماع الأول في آذار ـ نيسان، والاجتماع الثاني في نيسان ـ أيار (1988)	لاحظ المجلس بارتياح أيضًا بأن فريق صيانة ستارة التحشية العائد لرب العمل الذي قام المقاول بتدريبه وتجهيزه قام بعمله خلال هذه المدة بصورة جيدة بعد أن ترك المقاول ساحة العمل بسبب انتهاء مدة العقد وانقضاء فترة الصيانة. وكان العمل يتم بمستوى عالٍ من الحرفية واستمر بمجموعتين على ثلاث وجبات وواصل الفريق غلق الفتحات في الستارة في المقطع (70) خلال تلك الفترة الحرجة واستمر العمل في المقطعين (69) و(71) مع الاستمرار برصد البيزومترات وتفسير النتائج بصورة جيدة بالاعتماد في ذلك على معادلة الكفاءة التي سبق إقرارها من قبل المجلس في فترة سابقة. لخص المجلس في نهاية الاجتماع الثاني متطلبات المرحلة القادمة من دراسات وأعمال تنفيذية مطلوبة بما يلي: ـ استمرار المعالجات في ستارة التحشية تحت السد الرئيسي. ـ نصب المزيد من البيزومترات. ـ إجراء المزيد من معالجات التحشية الإضافية في منطقة المسيل الثانوي في الجانب الأيسر. ـ الإنجاز التام لستارة التحشية العميقة بموازاة قناة تصريف المسيل في الجانب الأيسر. ـ إجراء المزيد من الدراسات حول الرشح في الجانب الأيسر وتحت السد الرئيسي في مقطع النهر. ـ إجراء المزيد من الدراسات حول الخسفات الأرضية التي ظهرت في وقت سابق في حافة الخزان المجاورة للكتف الأيمن للسد. كما لاحظ المجلس باهتمام بأن عقد الخدمات الهندسية الاستشارية للاستشاريين السويسريين قد تم تمديده من قبل الوزارة لمدة ثلاث سنوات إضافية لغاية سنة (1991) من أجل تقديم الخدمات الاستشارية سواء بإجراء الدراسات أو إصدار المزيد من التعليمات اليومية لتنفيذ أعمال تحشية الصيانة من قبل كادر المشروع.

التفاصيل	التاريخ	التسلسل
لوحظ في هذا الاجتماع حصول تغيرات في عضوية المجلس، منها: انتهاء عمل السيد لوند ومساعده السيد فلورنتاين وإضافة كل من الخبير البريطاني هيو فانشو والخبيران البرازيليان فكتور دي ميليو ونلسن بنتو وقد تعذر حضور الخبراء الجدد إما بسبب عدم الحصول على تأشيرة الدخول إلى القطر أو التضارب بالمواعيد مع مواعيد سابقة. لذا فقد تمثل المجلس بشخص رئيسه السيد روجرز. تدارس المجتمعون رصودات البيزومترات التي سجلت كفاءة الستارة في مقطع النهر خلال الفترة الماضية وقد لوحظ تأثر هذه القراءات الشديد بارتفاع منسوب الخزان مع ملاحظة تناقص تدريجي في الفرق بين قراءات بيزومترات المقدم والأخرى في المؤخر مما يؤشر انخفاض في كفاءة الستارة. ولوحظ أيضًا من قراءات البيزومترات ومن كميات الرشح المرصودة في الجانب الأيسر بأن هذه الكميات تزداد أيضًا مع ارتفاع منسوب الخزان، وتم الاستنتاج بأن هذا الرشح في معظمه يتم من خلال طبقة الـ (F-Bed) من الجهة اليسرى البعيدة ويستمر باتجاه موازي لمحور السد الثانوي في منطقة المسيل الاضطراري عندما يتجاوز الخزن منسوب (316)، بينما يقل هذا الرشح ويتغير اتجاه جريانه عند انخفاض منسوب الخزان عن منسوب (316) مما يتطلب تحشية إضافية للستارة في المقطع (40). أما البيزومترات في الجانب الأيمن فقد رصدت رشح للمياه مؤخر امتداد ستارة التحشية في الجانب الأيمن في نهايتها البعيدة واتجاه قسم منها نحو أسس المحطة الكهرومائية، وهذا بدوره أكد ضرورة القيام بدراسة هذه الحالة للتوصل إلى حلول مقبولة. إن التناقص في كفاءة ستارة التحشية في مقطع النهر بات الآن واضحًا خاصة في المقاطع (79، 80 ، 81) وهي مقاطع وصلت فيها كفاءة الستارة إلى قيم عالية في (1987) إلا أنه لوحظ الآن أن الانخفاض أصبح متسارعًا بدرجة كبيرة خلال الأشهر الستة الماضية من معدل (70 %) إلى معدل (25%). لذا فمن الواضح بأن ستارة التحشية لن تصل إلى (100%) من الكفاءة في أي وقت بالمستقبل وأن الحصول على (70%) من هذه الكفاءة قد يكون مقبولًا. وبلغ معدل التناقص في الكفاءة في المقاطع الثلاثة المذكورة أعلاه (7,5%) شهريًا، وبكلمة أخرى فإن الكفاءة الحالية في المقطع (80) البالغة (45%) سوف تصل نقطة الصفر خلال ستة أشهر من الآن. ويمكن تعميم الملاحظة نفسها على المقاطع الأخرى المجاورة. إن هذا الأمر يؤشر الحالة الآن والتي يمكن أن تستمر إلى عدد غير معلوم من السنوات. ويمكن القول بأن تنفيذ أعمال التحشية يكون أكثر سهولة عند انخفاض منسوب الخزان منه عندما يكون المنسوب عاليًا. أما المعالجات التي جرت لتعديل الوضع في المقاطع (80، 81، 86) فقد بين العاملون اتباعهم الأسلوب التقليدي في التحشية وبتنصيف المسافات بين الثقوب المحفورة من (3) متر إلى (1,5) متر إلا أنه ونتيجة لاستهلاك المزيج بكمية كبيرة في الثقب (UG7) من المقطع (80) الذي بلغ (42) طن من مزيج (السمنت + الرمل + البنتونايت) تم الانتقال إلى أسلوب التحشية الموسعة (Massive Grouting) واستهلك عندئذٍ (132) طن إضافي حتى تم غلقه. (يتبع)	تشرين الثاني (1988)	الاجتماع التاسع والعشرون

التسلسل	التاريخ	التفاصيل
تابع - الاجتماع التاسع والعشرون	تشرين الثاني (1988)	كشفت التجربة في المقاطع المشار إليها أعلاه عن ضرورة استخدام المرونة في اختيار أسلوب التحشية المناسب والانتقال من أسلوب إلى آخر عند الضرورة في حال حصول تغيرات محسوسة في كميات استهلاك المزيج، وفي الوقت نفسه ضرورة أخذ أسلوب التحشية الموسعة بعين الاعتبار عند برمجة الأعمال المستقبلية مع التأكيد على فعالية هذا الأسلوب في حالات الاستهلاك الواسع. أما السؤال الذي لا يزال بدون جواب فكان: ماذا سيحصل إذا فشل هذا الأسلوب في أي مكان مستقبلًا؟. لقد تمخضت النقاشات التي جرت عن مجموعة من الأمور، منها: ضرورة إجراء تغيرات محددة بطريقة التفكير، كما كشفت عن الحاجة إلى المزيد من العدد والخبرات. وقد أخذ المجلس علمًا بتعاقد رب العمل مؤخرًا مع الشركة التخصصية (جيوكونسل) الفرنسية لحفر ما مجموعة (4500) مترًا طول من الثقوب لأغراض التحشية ونصب بيزومترات جديدة، كما تبين أيضًا التعاقد على تجهيز (150) بيزومترًا جديدًا فورًا و(80) بيزومترًا إضافيًا في المستقبل القريب. ومن الأمور الأخرى التي نوقشت: إجراء تحسينات على مكونات المزيج الأساسي لتقليل الفصل بين مكوناته باستخدام المضافات والقيام بخبطات تجريبية لهذا الغرض وكذلك الحاجة إلى استخدام مضخة خرسانة لأغراض حقن المزيج الحاوي على الحصى والرمل وضرورة تواجد خبير متمرس لمساعدة فريق الصيانة. وفي باب التوصيات أضاف المجلس إلى ما سبق: التأكيد على الاستمرار برصد وتسجيل قراءات البيزومترات بشكل جداول ومنحنيات مع ضرورة نصب البيزومترات الجديدة واستبدال العاطلة منها بصورة سريعة. وأكد المجلس بقوة على ضرورة التدخل لإجراء الصيانة على ستارة التحشية فور انخفاض كفاءتها إلى (50%) وإجراء التحشية التي تم اقتراحها في المقطع (40) في الجانب الأيسر لمعالجة ظاهرة الرشح هناك بالإضافة إلى المزيد من الدراسة حول حالة الرشح في نهاية امتداد ستارة التحشية في الجانب الأيمن والخروج بحلول لها. أما فيما يتعلق بتحشية الصيانة فقد عاد المجلس إلى التأكيد على فعاليتها في ضوء النتائج المتحققة في المقاطع (80 ، 81، 86) بالدمج بين أسلوبي المعالجة الاعتيادية والموسعة وتوفير كافة المتطلبات التي يحتاج إليها كادر الصيانة للاستمرار بهذا الأسلوب وأن يكون على أتم الجاهزية للتدخل الفوري وإجراء برمجة مستقبلية لتوفير كافة المتطلبات لهذا الأمر.

التفاصيل	التاريخ	التسلسل
انعقد الاجتماع في دائرة إدارة المشروع بحضور ممثلي الدائرة وممثل عن الاستشاريين السويسريين واستعرضوا ما قدمته الدائرة من تسجيلات لرصودات البيزومترات والتطورات في أعمال تحشية الستارة، كما استعرضوا تقريرًا مقدمًا من الخبير ماريوتي حول أعمال التحشية والخزن المقترحين. لوحظ من منحنيات قراءات البيزومترات وتغيرها مع الزمن بأن قراءات البيزومترات في مقدم الستارة تميل إلى الارتفاع في المقاطع (75 ـ 80) كما أن قراءات البيزومترات المقابلة لها في المؤخر في المقاطع نفسها تميل إلى الانخفاض ويؤشر هذا إلى تحسن بالكفاءة، ولوحظ أيضًا بأن هناك ظاهرة انخفاض الكفاءة التدريجي عن ما تحقق خلال سنة ما لم يتم التدخل بأعمال تحشية إضافية، وقد تكرر هذا الحال خلال السنتين الأخيرتين، وكان قد سبق للخبير ماريوتي أن فسر ذلك بحصول تآكل في الصخور الكلسية إضافة إلى ذوبان الجبسم في الأسس أيضًا. أما العلاج الذي اقترحه الخبير ماريوتي فكان بإضافة صفين من صفوف التحشية: الأول في المقدم ويميل نحو الأمام، والثاني في المؤخر ويكون مائلًا نحو الخلف لزيادة عرض ستارة التحشية من الأسفل وذلك في المناطق التي يسجل فيها كميات زائدة من الرشح. بعد ذلك تم بحث البرنامج المقترح للخزن في الموسم القادم فقد كان رأي الخبير ماريوتي ويسانده في ذلك الدكتور لوكا إبقاء مستوى الخزن في منسوب (300) وأن يستوعب الفيضان القادم ويثبت عند منسوب (317) وهو منسوب عتبة المسيل تقريبًا. أما توقعات الفيضانات لهذه السنة ولكونها سنة ذات تصاريف أعلى من المتوسطة فيمكن توقع بلوغ منسوب الخزان إلى منسوب (330). غير أن عدم الوثوقية التامة من كفاءة الستارة واستقرارية التحشية المستقبلية أدى بالمجلس أن يوصي بعدم الخزن إلى ما يزيد عن منسوب (320) في الوقت الراهن وإبقاء حرية التصريف قائمة للصعود أو الهبوط بالمنسوب كلما تقدم الموسم.	(29) كانون الثاني (1989)	الاجتماع المرحلي في الموقع

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press /سحب ثالث/ سد الموصل/

التسلسل	التاريخ	التفاصيل
الاجتماع الثلاثون	تموز (1989)	انعقد الاجتماع برئاسة الخبير البرازيلي فكتور دي ميليو لتغيب رئيس المجلس السيد روجرز، وحضر الأعضاء الجدد: الخبير البريطاني هيو فانشو، والخبير السويدي بنكت برومس، وتمثيل الاستشاريين السويسريين بثلاث خبراء إضافة إلى مهندسي رب العمل. قدم المجلس عن هذا الاجتماع تقريرًا شاملًا استعرض فيه حالة الأسس والرشح والذوبان فيها ومؤشرات كفاءة الستارة، وخلص إلى جملة من الاستنتاجات والتوصيات القيمة. وكانت الملاحظة الأولى للمجلس هي بأن صورة الحالة الهيدروجيولوجية في الأسس مع ما يتخللها من ذوبان وتآكل في الأسس لا تزال غير واضحة تمامًا رغم كل ما جرى سابقًا من بحث ودراسة، لذا اتفق مع الاستشاريون على ضرورة قيام هؤلاء بإعداد دراسة هيدروجيولوجية شاملة على نموذج رياضي ثلاثي الأبعاد على أن تقدم قبل موسم فيضان (1990) لمعرفة إمكانيات تحديد السقف الأعلى لمنسوب الخزن. **فيما يخص ستارة التحشية في مقطع النهر** درس المجلس النتائج المتحققة من أعمال تحشية الصيانة على الستارة خلال (1988 ـ 1989) واعتبرها ناجحة. فقد حققت زيادة في معدلات الكفاءة للستارة من (33,8%) إلى (78,5%) في تموز (1989) استنادًا إلى قراءات البيزومترات مقدم ومؤخر الستارة المذكورة. وتمركزت أعمال الصيانة هذه من المقطع (75) لغاية المقطع (91) وبوشر أيضًا بتحشية الصيانة في المقاطع (78، 80 و86). لقد تم التوصل إلى هذه النتائج باستخدام أسلوب تنصيف المسافات حتى وصلت المسافة بين الثقبين المتجاورين في صف التحشية الواحد إلى (0,75) مترًا كما تحقق هذا النجاح أيضًا باستخدام أسلوب مختلط من التحشية الاعتيادية والتحشية الموسعة. وشرح المجلس وجهة نظره في تفسير موضوع كفاءة الستارة وعلاقته بالذوبان والتآكل في الأسس، ففي الوقت الذي تعتبر كفاءة الستارة بحدود (40% ـ 60%) كافية في أغلب السدود، لا يمكن اعتبارها كذلك في حالة سد الموصل بسبب طبيعة الأسس الذائبة والمتآكلة. كما أن هناك مؤشر آخر لا يقل أهمية عن مؤشر الكفاءة هو مؤشر كمية استهلاك المزيج في أي ثقب من ثقوب التحشية، فعلى سبيل المثال كان هناك تسعة حالات من الاستهلاكات العالية جدًا في مناطق صخور (GBO) وكذلك في مناطق سطوح التماس بين هذه الطبقة وتراكيب الصخور الكلسية الطباشيرية الواقعة فوقها، حيث استهلك الثقب (75DQ1) في المقطع 75 ما مقداره (767) طن من السمنت و(31) طن من البنتونايت إضافة إلى (1200) طن من الرمل. (يتبع)

التفاصيل	التاريخ	التسلسل
وكانت أيضًا الكميات المستهلكة الكلية خلال سنة تقريبًا في مجموع المقاطع التي لا يتجاوز طولها (400) متر قد بلغت (20000) طن من مواد التحشية الجافة أي بمعدل (50) طن/متر طول من الستارة ويساوي ذلك (0,63) طن/متر^2 باعتماد معدل عمق (80) مترًا للستارة المذكورة. وباعتماد هذه الأرقام يمكن القول بأن حوالي (25000) متر^3 من المواد قد تآكلت وذابت من أسس هذا الجزء من السد خلال فترة سنة تقريبًا أي بمعدل (70) متر^3/يوم، أما اذا اعتمدنا الطول الكامل للسد فسوف يتضاعف الرقم إلى حوالي (150) متر^3/يوم. ويفوق هذا الرقم ما سبق وتم التوصل إليه في السنوات السابقة من تقديرات التي كانت حسب تقديرات لوكا وماريوتي بحدود (10) متر^3/اليوم؛ أي: بمعنى آخر: إن معدل تدهور الأسس يتصاعد سنة بعد أخرى بصورة لوغارتمية رغم أعمال التحشية والزيادات في كفاءة الستارة. وبالعودة إلى قراءات البيزومترات المسجلة يرى المجلس أيضًا بأن هذه القراءات لا تعتبر كافية لوحدها ما لم تقترن بدراسة كميات تصاريف الرشح المصاحبة معها وأن الكفاءة المحسوبة قد تؤشر إلى حالة أفضل من واقع الحال، ففي خلال (1988 ـ 1989) ارتفع معدل الكفاءة المحسوبة من (33,8 %) إلى (78,5%) وهذه النتيجة هي حصيلة احتساب معدل الفرق بين الضاغط المائي في بيزومترات مقدم الستارة ومؤخر الستارة، وحيث إن كميات الرشح تتناسب عكسيًا مع قيمة الكفاءة فإن هذا يعني أنه لو اعتبرنا أن كمية الرشح تساوي (Q%100)؛ أي: تكون الكفاءة تساوي (0 %) فإن التخفيض في الكمية سيصل إلى (Q%21,5) عند ارتفاع الكفاءة إلى (78,5%) إلا أن قياسات كميات الرشح المتحققة في مقدم نفق الدخول إلى رواق التحشية سجلت انخفاضًا لا يتجاوز (16,2%) فقط. لذا لا يمكن لحسابات الكفاءة وحدها أن تعكس التحسن في تقليل الرشح، وبالتالي الذوبان ويتطلب الحذر في التعامل مع قيم الكفاءات هذه. ثم تطرق المجلس إلى السلوك الشاذ لبعض البيزومترات مما يشير إلى ضرورة إجراء دراسة تقويمية لها وإعادة تأهيلها أو استبدالها واستخدام نتائج دراسة النموذج الرياضي ثلاثي الأبعاد المقترح القيام به من قبل الاستشاري لتحديد مواقع وأعماق البيزومترات الجديدة. بعد ذلك ركز المجلس على موضوع الذوبان والتآكل في الأسس فمن حجم الذوبان اليومي البالغ (150) متر^3/ يوم الذي سبق احتسابه فإن هذا الحجم يوازي (240) طن/يوم من الأملاح أي ما يعادل (2,7) كلغم/ثا من المواد الذائبة والمتآكلة، وعند افتراض معدل تركيز الأملاح في مياه الرشح قدره (300) ملغم/لتر أي (30) كلغم/متر^3 فإن هذا يؤشر إلى كمية رشح تبلغ (10) متر^3/ثا في أساسات السد، كما أن الرشح يزداد بارتفاع منسوب الخزان فلو افترضنا معدلًا متواضعًا بزيادة خطية قدرها (5%) لكل متر إضافي في منسوب الخزان فسوف تتضاعف كمية الرشح إلى (20) متر^3/ثا في حالة ارتفع المنسوب بمقدار (10) أمتار من منسوب (+310) إلى منسوب (+330). (يتبع)	تموز (1989)	تابع ـ الاجتماع الثلاثون

التسلسل	التاريخ	التفاصيل
تابع - الاجتماع الثلاثون	تموز (1989)	ويقر المجلس بأن الزيادة بالرشح والذوبان قد لا تكون خطية كما افترض لسهولة الحساب بل قد تكون لوغارتمية مما يجعل الأمر أكثر سوءًا. وفي كافة الأحوال لا بد من إجراء التحليلات المختبرية المستمرة على نماذج مياه الرشح للتوصل إلى كميات الذوبان المتوقعة. تكهن المجلس أيضًا عند المناقشة بعدم وجود تكهفات في منطقتي البريشيا الجبسية (GB0) و(GB1) يزيد حجمها عن (1) متر إلى (2) متر والسبب في ذلك هشاشة طبقات تركيب الصخور الكلسية الطباشيرية الواقعة فوقهما مما يؤدي إلى انهيار أجزاء من هذه التراكيب وإملاء الكهوف المتكونة في البريشيا الجبسية قبل تطورها إلى حجم أكبر من ذلك، ويقتضي استعمال تقنيات أشعة (كاما) واستخدام أجهزة قياس سرعة الصوت (Sonic Velocity Determination) للكشف عن أي تكهفات أو مناطق ضعف في الأسس بالإضافة إلى حفر ثقوب تدقيقية لهذا الغرض. واقترح المجلس إجراء مراقبة لمناطق منتخبة في مناطق التحول في البريشيا الجبسية داخل الأسس باستخدام بيزومترات تزرع لهذا الغرض والاستمرار برصد الهبوط في رواق التحشية الذي بدأ عند المباشرة بإملائيات السد في مقطع النهر والذي استمر لغاية الآن إما بسبب الزحف (Elastic Creep) في الطبقات الصخرية أو بسبب الذوبان في طبقة البريشيا الواقعة تحته أو كليهما معًا. وتدارس المجلس أيضًا حالة الكتف الأيمن للسد ووضعية المياه الأرضية هناك، وقد سبق للاستشاريين السويسريين أن درسوا الحالة هناك بواسطة نموذج رياضي ثلاثي الأبعاد وأثبتت الدراسة في حينه أن الرشح يحصل حول نهاية امتداد ستارة الجانب الأيمن خلال طبقة صخور الجريبي الكلسية، أما الرشح من خلال الستارة نفسها فهو قليل ومقبول. وتم تخمين كميات الرشح ووجد بأن حوالي ثلثي تلك الكمية تتجه نحو بناية المكائن والمولدات للمحطة الكهرومائية، أما الثلث المتبقي فإنه يجري باتجاه موقع الخسفات التي تكونت لاحقًا في المؤخر والتي تم وصفها في الفصل السادس من الكتاب. وبينت رصودات البيزومترات مقدم الستارة مناسيبَ تتطابق مع منسوب الخزان بينما سجلت تلك البيزومترات في مؤخر الستارة التي تتحسس طبقة (GB1) مناسيب تتفق مع مناسيب المياه في مؤخر السد، أما البيزومترات الواقعة في مؤخر السد التي تتحسس الأسس تحت طبقة البوكسايت فقد سجلت مناسيب تتفق مع مناسيب المياه في مكمن وادي المالح، وهذا يعني فعالية طبقة البوكسايت في عدم السماح لمياه الرشح بالمرور عموديًا خلالها وأن هذه الطبقة تفصل المكمن العلوي الذي يغذيه الخزان عن المكمن السفلي المتصل بمكمن وادي المالح. وناقش المجلس الحلول لتقليل الرشح حول نهاية الستارة واقترح القيام بدراسة إمكانية إجراء تبطين لمنكشفات صخور الجريبي في الخزان فوق منسوب (327). (يتبع)

التفاصيل	التاريخ	التسلسل
بعد ذلك دقق المجلس في وضعية الجانب الأيسر ولاحظ بأن أعمال التحشية الإضافية التي جرت هناك كانت مؤثرة كما أشّرت ذلك البيزومترات هناك. فمن رصد البيزومترين (A51) و(A52) انخفضت القراءات العالية نتيجة لفيضان (1988) بعد إنجاز التحشيات لاحقًا في (1988 ـ 1989). وأيد المجلس مقترح الاستشاري بتمديد الستارة القاطعة الموازية للمسيل الرئيسي للحصول على المزيد من تقليل الرشح تحته وتقليل الذوبان والتآكل هناك والحيلولة دون حصول هبوط فيه. وكما كان متوقعًا فقد ازدادت تصاريف الرشح في هذا الجانب عند ارتفاع منسوب الخزان، ففي نقطة القياس رقم (1) إلى اليمين من منشأ المذب ارتفع تصريف الرشح من (61) لتر/ثانية إلى (110) لتر/ثانية عندما ارتفع المنسوب من (+ 320) إلى (+ 327) خلال الفترة من (17) آذار إلى الأول من حزيران (1988) كما ازداد من (17,4) لتر/ثانية إلى (33,5) لتر/ثانية عندما ارتفع المنسوب من (+ 300) إلى منسوب (+ 311) خلال الفترة من الأول من آذار (1989) إلى (27 أيار) من نفس السنة. وكان هناك زيادات مماثلة في تصريف نقطة القياس عند مدخل نفق الدخول إلى رواق التحشية. وبأخذ الصورة كاملة يمكن القول بأن التحشية الإضافية في الجانب الأيسر قد حققت تخفيضًا عامًا ومؤثرًا في تصاريف الرشح في هذا الجانب. بعد هذا انصب اهتمام المجلس على مناقشة الأمور المهمة التالية: أولًا: إجراء تحسينات على أساليب تحشية الصيانة الإضافية ويمكن تلخيص ملاحظات المجلس بالنقاط التالية. ـ عدم التسرع بإجراء تغيرات في الأساليب طالما أثبتت الأساليب الحالية فعاليتها ولحين القيام بتجارب حقلية ومختبرية جديدة على أن تتم المباشرة بالتجارب فورًا. ويرى المجلس أن التحسن الحاصل بالكفاءة قد لا يكون بعيد المدى نظرًا لأن ضغوط التحشية العالية جدًا التي استعملت قد تسببت هي الأخرى بزيادة لوغارثمية في قابلية الذوبان بسبب انضغاط الجبسم. ـ بالعودة إلى موافقة سابقة للمجلس على مقترح باستعمال طريقة الحفر بالدق (Percussion Drilling) بدلًا من الحفر الدوراني (Rotary Drilling) وجعل الثقوب متقاربة جدًا فإن المجلس يؤكد ضرورة التسريع بالحصول على معدات الحفر اللازمة وأن هذا الأسلوب قد يحقق تقدمًا سريعًا في العمل كما نفى وجود تأثير سيء على الأسس بسبب الاهتزاز الذي قد تحدثه عمليات الدق. (يتبع)	تموز (1989)	تابع ـ الاجتماع الثلاثون

التسلسل	التاريخ	التفاصيل
تابع ـ الاجتماع الثلاثون	تموز (1989)	وأوصى المجلس القيام بتحشية مجاميع متقاربة من الثقوب سوية بشكل بطريات لجعل التحشية متماسكة مع بعضها على أن يقدم الاستشاري تصاميم ومواصفات العمل المذكور. ثانيًا: أما عن أنواع مزيج التحشية واستخدام مضافات على المزيج بحسب مقترح للخبيرين لوكا وماريوتي في تقرير سابق لهما، فإن المجلس يرى عدم استعمال أية مواد مضافة قبل إجراء تجارب مختبرية عليها، ويصح هذا الشيء بالنسبة لاستعمال محاليل السليكا العالية التركيز والسريعة التصلب، مع العرض بعدم وجود حالة في الوقت الراهن تستدعي إغراق الطبقات الصخرية بمثل هذه المحاليل، إضافة إلى ضرورة دراسة إمكانية حصول أكسدة وتآكل في الصخور الكلسية باستعمال المعالجات الكيمياوية هذه. ثالثًا: أكد المجلس ضرورة تدقيق وضعية بساط التحشية وإمكانية حصول ذوبان من خلاله أو تحته. رابعًا: قرر المجلس أن يكون أعلى منسوب تشغيلي بحدود (315) كحد أعلى لتجنب أية مفاجئات سلبية، مع السماح بخزن إضافي وقتي قد يتحقق عند تسليك الفيضانات، ويتم العمل بهذا القرار حتى إشعار آخر ولحين إنجاز ما يلي: ـ زيادة عرض الستارة في الأجزاء السفلية منها إلى (20) مترًا. ـ إضافة المزيد من أجهزة التحسس والبيزومترات. ـ القيام بأية أعمال إضافية ودراسات مطلوبة من قبل الاستشاري. ـ هذا ويوصي المجلس بشدة على التعامل الفوري مع أية حالة طارئة قد تظهر عند الخزن هذا. لقد تضمن العرض أعلاه توصيات للمجلس لكل موضوع تمت مناقشته، وتبقى توصية أخيرة وهي ضرورة قيام الاستشاري بدراسة حالة أسس المحطة الكهرومائية ومدى الذوبان الحاصل في طبقة الجبسم تحت جزء منها في ضوء الرشح القادم من نهاية امتداد ستارة التحشية اليمنى وكذلك في ضوء الميلان المرصود في بناية المكائن والمولدات.

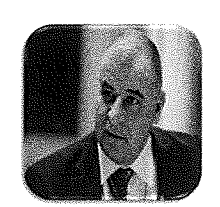
z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/



المؤلفون

المهندس الاستشاري نصرت أدمو

- ولد في الموصل سنة (1944).
- حصل على شهادة البكالوريوس في الهندسة المدنية من جامعة الحكمة ببغداد عام (1968)، وبعدها شهادة الماجستير في الري وهندسة السدود سنة (1972) من جامعة سوثهامبتن في بريطانيا.
- عمل منذ تخرجه في وزارة الموارد المائية العراقية ـ وزارة الري سابقًا ـ وحتى تقاعده سنة (2006) حيث عمل بعدها كاستشاري مستقل.
- شغل منصب المدير التنفيذي للعديد من مشاريع الري ومشاريع السدود، وكان آخر عمل له هو: معاون المدير العام لمديرية السدود والخزانات العامة.
- وكذلك مديرًا لتصاميم ودراسات العديد من السدود، ومديرًا تقنيًا أيضًا، كما عمل منسقًا لأعمال مجالس الخبراء العالمية للسدود العراقية.
- عمل كمستشار وخبير متخصص في السدود في مهام مختلفة ومتعددة.
- قدم المشورة الفنية لمشروع تعلية سد الروصيرس على نهر النيل الأبيض في السودان، وعدد آخر من السدود في البلاد العربية.
- سكرتير اللجنة الوطنية العراقية للسدود الكبيرة.
- لديه عدد من المؤلفات والبحوث في الموارد المائية والسدود.

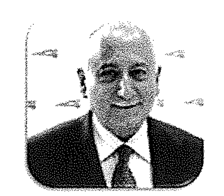


البروفسور نظير الأنصاري

- الأستاذ الدكتور نظير الأنصاري مواليد (11 ـ 11 ـ 1947) ببغداد.
- حاصل على شهادة البكالوريوس والماجستير في الجيولوجيا (1968) و(1972) على التوالي من جامعة بغداد كلية العلوم، والتحق بالبعثة العلمية إلى جامعة دندي في المملكة المتحدة عام (1973) وحصل على شهادة الدكتوراه في الهيدرولوجي عام (1976).
- عمل معيدًا في جامعة بغداد للفترة (1968 ـ 1973) وأعيد تعيينه كمدرس في الكلية نفسها عام (1976) وحصل على مرتبة أستاذ مساعد عام (1980) ثم الأستاذية عام (1988) واستمر بالعمل في الجامعة نفسها لغاية (1995).
- التحق كخبير بمركز بحوث المياه والبيئة في الجامعة الأردنية عام (1995) لمدة ثلاثة أشهر، وبعدها انتقل للعمل في جامعة آل البيت كأستاذ لغاية عام (2007)، بعدها حصل على لقب بروفسور في جامعة لوليو التكنولوجية في السويد، ويعمل فيها إلى الآن.
- تقلد د. نظير الأنصاري عدة مناصب إدارية؛ منها: رئيس قسم علوم الأرض في جامعة بغداد، ورئيس وحدة البحوث الاستراتيجية للبيئة وموارد المياه، وعميد معهد علوم الأرض والبيئة في جامعة آل البيت.
- ألقى محاضرات في العديد من الجامعات العراقية والأردنية والبريطانية والسويدية. وشارك في الإعداد لعديد من المؤتمرات العلمية المحلية والإقليمية والعالمية وترأس العديد من جلساتها.
- أشرف على أكثر من (65) طالب للدراسات العليا في جامعات مختلفة كجامعة بغداد، آل البيت، لوليو السويدية، كوفنتري البريطانية، وجامعة كوينز الأسترالية. وشارك في لجان مناقشات طلبة الدراسات العليا في العديد من الجامعات العربية والأوروبية.
- نشر أكثر من345 بحثًا علميًا في المجلات العلمية العراقية والعالمية، وألَّف (12) كتابًا علميًا، وحصل على براءة اختراع في موضوع فصل أكاسيد الحديد من الرسوبيات.
- حاصل على العديد من الجوائز العلمية، ومن أهمها: جائزة الرافدين لأفضل بحث في المياه، وجائزة أفضل خمس علماء في العالم من المركز الثقافي البريطاني في مجال التبادل الثقافي.

- نفذ أكثر من (60) مشروعًا علميًا في العراق والأردن وأوروبا مدعومة من اليونسكو، UNDP, UNEP، مجموعة الـ (77)، المجموعة الأوروبية، المركز الثقافي البريطاني والبنك الدولي.
- أسس الجمعية العلمية للموارد المائية العراقية، وترأس الجمعية الجيوليوجية العراقية، وكان عضوًا مؤسسًا للمجلس الأعلى للجمعيات العلمية العراقية. كما وشارك في عضوية العديد من اللجان الوطنية في العراق والأردن مثل البرنامج الهيدرولوجي الدولي، ولجنة المطابقة الجيولوجية، ولجنة تطوير التعليم العالي في الأردن، وعضوًا في الاتحاد العالمي لعلوم المياه، ونائبًا لرئيس اللجنة العالمية لتعرية رسوبيات القارات، والممثل الإقليمي في الشرق الأوسط للمعهد العالمي لعلوم المياه والبيئة.
- أعد وأسهم في العديد من الدورات التدريبية وآخرها عددًا من الدورات التدريبية مع اليونسكو لتطوير الكوادر الجامعية في الجامعات العراقية.
- شارك في العديد من اللجان الجامعية على مستوى القسم والكلية والجامعة في العراق والأردن.
- ترأس وشارك في عضوية هيئات تحرير العديد من المجلات العلمية في العراق والأردن ويشارك حاليًا في عضوية تحرير (6) مجلات علمية عالمية.

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/



الجيولوجي الاستشاري
فاروجان خاجيك سيساكيان

- ولد فاروجان سيساكيان في مدينة بغداد عام (1949).
- تخرَّج من جامعة بغداد ـ كلية العلوم ـ قسم الجيولوجي عام (1969) بدرجة بكالوريوس علوم، والتحق بشركة المعادن الوطنية العراقية عام (1971) وعمل في قسم المسح الجيولوجي.
- في عام (1976) حصل على شهادة دبلوم عالي في تفسير الصور الجوية لأغراض الجيولوجيا الهندسية من هولندة، وفي عام (1982) حصل على شهادة الماجستير في إعداد الخرائط الجيولوجية الهندسية من هولندا.
- عمل في كافة أنحاء العراق في مشاريع المسح الجيولوجي الإقليمي والتفصيلي والمسح الجيولوجي الهندسي. في عام (1988 ـ 1991) عمل مديرًا للجودة في مشروع اختيار مواقع للمحطة الكهورنووية في العراق. في عام (1992) أصبح مديرًا لقسم الجيولوجيا ولغاية إحالته على التقاعد عام (2012).
- كان ممثل العراق في اللجنة العالمية لإعداد الخريطة الجيولوجية للعالم/خريطة قارة آسيا، واسمه مثبت على الخريطة كنائب مدير لجنة الشرق الأوسط.
- خلال فترة عملة في المسح الجيولوجي، أودع (126) تقريرًا جيولوجيًا في مكتبة هيأة المسح الجيولوجي العراقية، ونشر (105) بحثًا علميًا في مجلات علمية عراقية وأجنبية.
- اهتماماته الرئيسية هي: الخرائط الجيولوجية، المخاطر الجيولوجية، التحريات الخاصة بدراسة المواقع الاستراتيجية والتحريات المعدنية.
- حاليًا يعمل كأستاذ في جامعة كوردستان، أربيل، العراق.

z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Monday 19th March 2018/Sanabel Press سحب ثالث/ سد الموصل/



البروفسور سفن كنتسن

- البروفسور سفن كنتسن من مواليد السويد في (30 ـ 4 ـ 1948).
- حصل على شهادة الدكتوراه من جامعة لوليو التكنولوجية في مجال الهندسة الجيوتكنيكية والانجماد.
- أبحاثه في مجال هندسة السدود والبنية الداخلية الهندسية مع التركيز على الاستدامة، وله اهتمام خاص بالمسائل الهندسية للمناطق الباردة.
- عمل في العديد من المناصب الأكاديمية الإدارية في جامعة لوليو التكنولوجية، إضافة إلى العديد من المناصب خارج نطاق المحيط الجامعي، حيث عمل مع العديد من المؤسسات والشركات لتنفيذ العديد من المشاريع البحثية المطلوبة.
- عضو في العديد من الجمعيات العلمية الوطنية والعالمية كالهيئة العالمية للسدود العالمية، والجمعية العالمية لميكانيك التربة والهندسة الجيوتقنية، والجمعية الخاصة بالجليد السرمدي.... إلخ.
- نشر أكثر من (350) بحثًا في المجلات المحلية والعالمية وتقارير علمية وفنية وفصول في كتب، وعمل كرئيس لمشاريع متعددة بلغت أكثر من (25) مشروعًا بحثيًا في السويد والمجموعة الأوروبية.
- حصل على (3) براءات اختراع في مجال تخصصه وأشرف على أكثر من (25) طالب دكتوراه و(50) طالب ماجستير معظمهم في جامعة لوليو التكنولوجية، وكان يترأس مجموعة بحثية تتألف من (36) باحثًا بضمنهم (26) طالب دكتوراه حتى نهاية عام (2015).
- ويشغل حاليًا منصب أستاذ متمرس في قسم الهندسة المدنية والبيئة والموارد الطبيعية في جامعة لوليو التكنولوجية.



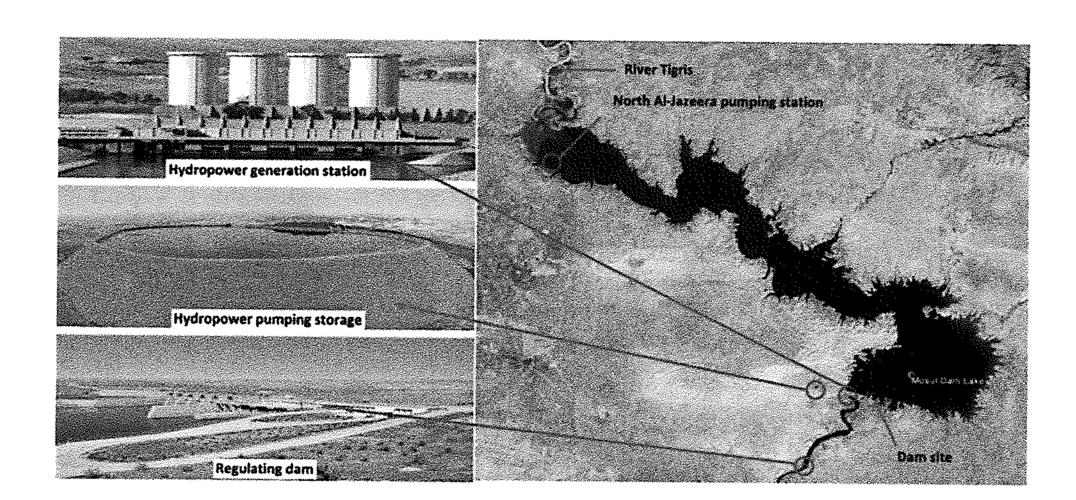
البروفسور جان لاوي

- البروفسور جان لاوي من مواليد (13 ـ 7 ـ 1963).
- حاصل على شهادة الدكتوراه في الهندسة الجيوتقنية.
- ابتدأ حياته الأكاديمية كمساعد باحث في مجال مكيانيك التربة والأسس في جامعة روهر بخم، وبعدها مدير تنفيذي وخبير استشاري في شركات متعددة، ومدرسًا لبرنامج الماجستير في جامعة روهر بخم، ومديرًا لمركز جهاز الطرد المركز الجيوتقني، ثم عمل كباحث متقدم ومديرًا تقنيًا للطرد المركزي الجيوتقني ومدرسًا ورئيسًا لمجموعة دينميكة التربة في جامعة ETH في سويسرا، وبعدها خبيرًا استشاريًا لشركة Synaxis AG، وأخيرًا أستاذًا ورئيسًا لقسم ميكانيك التربة والهندسة الجيوتقنية في جامعة لوليو التكنولوجية في السويد.
- عضو في العديد من الهيئات والجمعيات العلمية لميكانيك التربة السويدية والألمانية والسويسرية، وعضوية الجمعية العالمية لميكانيك التربة والهندسة الجيوتقنية، وعضوية مجموعة المهندسين شمال منطقة الراين بألمانيا، وعضوية الهيئة الخاصة بجيوتقنية الزلازل الهندسية، وعضو الهيئة الاستشارية لدينميكية سكك الحديد، وعضو الهيئة الاستشارية للخزن الجوفي لوزارة العلوم الألمانية والسويدية.
- اشترك في العديد من المؤتمرات المحلية والعالمية وترأس العديد من الجلسات العلمية فيها، وقام بتقييم العديد من البحوث العلمية لمجلات مختلفة في مجال الجيوفيزياء والإحصاء التطبيقي وهندسة الزلازل، وقيم العديد من المشاريع في مجال اختصاصه في العديد من الدول كسويسرا، السويد، ألمانيا، فرنسا، نيوزلندا، هولندا، والبرتغال.
- أشرف على (9) أطروحات للدكتوراه وشارك في امتحان العديد من رسائل الدكتوراه، وحاليًا يشرف على طالب دكتوراه في زيورخ و(13) طالب دكتوراه في لوليو، وأشرف على أكثر من (90) طالب ماجستير.
- قام بتدريس العديد من المواد في العديد من الجامعات في ألمانيا وسويسرا والسويد كدينميكية التربة، النمذجة الجيوتقنية ـ التصاميم والإنشاءات الجيوتقنية، هندسة الأسس الجيوتقنية الهندسية المتقدمة ـ جيوتقنية ودينميكة التربة والمخاطر الطبيعية.
- نشر (100) بحث في المجلات والمؤتمرات العلمية وشارك في كتابة (3) كتب، وألقى (50) محاضرة متخصصة، ونشر حوالي (130) تقريرًا تقنيًا هندسيًا.

Black plate (416,1)

Mosul Dam Full story

Scientific and Technical Comprehensive Study



Nasrat Adamo

Professor Nadhir Al-Ansari

Varoujan Sissakian

Professor Sven Knutsson

Professor Jan Laue

2018

ISBN 978-91-639-5553-2



z:/MkT2018/Bachaer/sd_mowsel.3d/70x100/Friday 9th March 2018/Sanabel Press /سحب ثالث/ سد الموصل